



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR- TL 141584

**ANALISA KEGAGALAN *TIRE ROLLER* PADA
VERTICAL ROLLER MILL DI *FINISH MILL* TUBAN 3
PT. SEMEN INDONESIA**

MUHAMMAD REZA
NRP. 2713 100 002

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., PhD.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISA KEGAGALAN *TIRE ROLLER* PADA
VERTICAL ROLLER MILL DI *FINISH MILL*
TUBAN 3 PT. SEMEN INDONESIA TBK**

MUHAMMAD REZA
NRP 2713 100 002

Dosen Pembimbing :

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

FAILURE ANALYSIS OF TIRE ROLLER IN VERTICAL ROLLER MILL AT FINISH MILL TUBAN 3 PT. SEMEN INDONESIA

**MUHAMMAD REZA
NRP 2713 100 002**

Advisor :

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

**Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA KEGAGALAN TIRE ROLLER PADA
VERTICAL ROLLER MILL DI FINISH MILL TUBAN 3
PT SEMEN INDONESIA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Material Dan Metalurgi
pada
Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material
Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
MUHAMMAD REZA
NRP. 2713 100 002**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD (Pembimbing 1)
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Analisa Kegagalan *Tire Roller* pada *Vertical Roller Mill* di
Finish Mill Tuban 3 PT. Semen Indonesia Tbk**

Nama : Muhammad Reza
NRP : 2713100002
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng.
Co-Pembimbing : Wikan Jatimurti, S.T., M.T.

Abstrak

Vertical Roller Mill berfungsi sebagai tempat penggilingan terak semen, dan tempat pencampuran dengan bahan aditif sehingga menghasilkan produk akhir dari semen. Pada Vertical Roller mill sering sekali terjadi kegagalan terutama pada bagian tire roller. Tire roller berfungsi untuk menggerus material yang masuk dengan berputar menggiling terak. Dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisa penyebab terjadinya kegagalan pada tire roller. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisa material ini adalah, uji komposisi, metalografi, hardness, SEM, dan uji titik kritis tegangan dengan menggunakan software inventor. Dari hasil uji komposisi didapatkan material tire roller memiliki komposisi yang berbeda dari standar Ni-Hard 4 yaitu besi tuang putih. Kemudian dari uji kekerasan ini diperoleh data rata-rata nilai kekerasan pada daerah yang mengalami kegagalan sebesar 700 HV, dan pada daerah yang jauh dari kegagalan sebesar 664 HV. Analisa struktur mikro dan makro pada komponen tire roller ini dan analisa karakterisasi material dari SEM menunjukkan pola patah lelah getas akibat tingginya tegangan yang berulang-ulang pada daerah tire roller.

Kata kunci : Tire roller, Vertical Roller Mill, Besi Tuang Putih, Patahan Getas, Komposisi.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

Failure Analysis of Tire Roller in Vertical Roller Mill at Finish Mill Tuban 3 PT. Semen Indonesia Tbk.

Name : Muhammad Reza
SRN : 2713100002
Major : Material & Metallurgical Engineering Dept
Advisor : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng.Co-
Advisor : Wikan Jatimurti, S.T., M.T.

Abstract

Vertical Roller Mill has a function as crusher of clinker and mixing with additive material to produce the final product of cement. At Vertical Roller mill failure often occurs, especially on the tire roller. Tire roller has function to crush the clinker by the rotation. In this study conducted to analyze the causes of failure in the tire roller. Tests were carried out to analyze this material are ,composition test, metallographic, hardness, SEM, and critical stress test by using software inventor. From the test results obtained material composition ratio tire roller has different composition with the standard Ni-Hard 4 is white cast steel.From hardness test data showed the average value of hardness in area that near the failure is 700 HV, and in area far from failure is 664 HV. Micro and macro structures analysis on the tire roller component and material characterization of SEM showed fatigue brittle fracture due to high stress applied repeatedly on the tire roller area.

Keywords: Tire roller, Vertical Roller Mill, White Cast Steel,Fatigue Brittle Fracture, Composition.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas limpahan rahmat dan karunia Allah SWT, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul: **Analisa Kegagalan Tire Roller pada Vertical Roller Mill di Finish Mill Tuban 3 PT. Semen Indonesia Tbk**

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas berkat dan rahmatNya di dalam hidup saya.
2. Kedua orang tuaku Bapak Bambang Roseno , Ibu Euis Sumiyati dan kakak-kakakku teh Eka, dan teh Meti atas semua dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku co dosen Pembimbing, dan selaku dosen wali yang sangat mengayomi, dan telah banyak membanyak memberikan ilmu.
6. Bapak Apriyo Edi, selaku pembimbing di PT. Semen Indonesiayang telah membimbing selama pengambilan data Tugas Akhir ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin

Surabaya, Juli 2017

Penyusun

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. <i>Vertical Roller Mill</i>	5
2.2. <i>Tyre Roller</i>	6
2.3. <i>Material Tyre Roller</i>	7
2.3.1. Material Standar Ni-Hard 4.....	7
2.3.2. Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>).....	9
2.3.3. Besi Tuang Putih (<i>White Cast Iron</i>).....	10
2.3.4. <i>High Chromium White Cast Iron</i>	11
2.4. Analisa Kegagalan	13
2.5. Prosedur dalam Analisa Kegagalan.....	15
2.6. Patah Getas dan Patah Ulet	16
2.6.1. Patahan Ulet	17
2.6.2. Patah Getas	19
2.7. Mekanisme Pembentukan Patah Lelah.....	20
2.7.1. Tahap Retak Awal (<i>Crack Initiation</i>).....	21
2.7.2. Tahap Perambatan Retak (<i>Crack Propagation</i>)	22
2.8. Karakteristik Patahan	23
2.9. Penelitian Sebelumnya	25
2.9.1. Analisa Kegagalan <i>Rocker Arm</i>	25

2.9.2. Kegagalan pada <i>Crank Shaft</i> Silinder Tunggal	27
---	----

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian	31
3.2. Metode Penelitian.....	32
3.3. Spesifikasi <i>Vertical Roller Mill</i>	33
3.3.1. Data Operasional Kerja <i>Vertical Roller Mill</i>	33
3.4. Material <i>Tire Roller</i>	34
3.5. Peralatan	36
3.6. Tahapan Penelitian	37
3.6.1. <i>Review</i> Dokumen Perusahaan.....	37
3.6.2. Preparasi Spesimen.....	37
3.6.3. Uji Komposisi.....	37
3.6.4. Pengamatan Makroskopik	38
3.6.5. Pengamatan Mikroskopik	38
3.6.6. Uji Kekerasan	40

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data.....	41
4.1.1. Record Rocker Arm di <i>Vertical Roller Mill</i>	41
4.1.2 Pengamatan Hasil Makro.....	42
4.1.3. Hasil <i>Stereomicroscope</i>	43
4.1.4. Hasil Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>) .	46
4.1.5. Hasil Pengujian Komposisi Kimia	50
4.1.6. Hasil Pengujian Metalografi	50
4.1.7. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers	56
4.1.8. Analisa Gaya	57
4.2. Pembahasan	59

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65

DAFTAR PUSTAKA	xx
-----------------------------	----

LAMPIRAN	xxiii
-----------------------	-------

BIODATA PENULIS	xxxix
------------------------------	-------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen utama <i>Vertical Roller Mill</i>	5
Gambar 2.2 Proses penggilingan material oleh roller.....	6
Gambar 2.3 Pola aus pemakaian pada <i>tire</i> Loesche	7
Gambar 2.4 Struktur mikro besi tuang putih	11
Gambar 2.5 Diagram fasa ekuilibrium <i>high chromium</i> <i>white cast iron</i>	12
Gambar 2.6 Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan	17
Gambar 2.7 Tahap patahan <i>cup</i> dan <i>cone</i>	18
Gambar 2.8 Patah ulet pada alumunium dan patah getas pada <i>mild steel</i>	18
Gambar 2.9 SEM menunjukkan <i>spherical dimple</i> karakteristik, patahan hasil beban tarik dan geser	19
Gambar 2.10 Skema perambatan retak yang melewati butir (<i>transgranular</i>).....	20
Gambar 2.11 Skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (<i>intergranular</i>).....	20
Gambar 2.12 Mekanisme patah lelah dan faktornya	21
Gambar 2.13 Model Wood untuk pengintian retak	22
Gambar 2.14 Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis.....	23
Gambar 2.15 Foto SEM yang menunjukkan <i>Beachmarks</i> dan striasi secara mikro	24
Gambar 2.16 Retakan dengan pola rambatan <i>trangranular</i> dan <i>intergranular</i>	25
Gambar 2.17 Pengamatan <i>crack initiation</i> dengan <i>Stereomicroscope</i> dan kamera.....	26
Gambar 2.18 Pengamatan <i>crack initiation</i> dengan SEM perbesaran 400x dan 1000x	27
Gambar 2.19 Mikrostruktur lapisan permukaan dengan perbesaran 200x pada crank 1 dan 2.....	28
Gambar 2.20 Mikrografik SEM pada permukaan yang patah pada crank 1dan 2	28

Gambar 2.21	Mikrografik SEM yang menunjukkan adanya garis <i>benchmark</i> pada crank 1 dan 2	29
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2	Gambar desain <i>roller mill</i>	33
Gambar 3.3	Komponen <i>tire roller</i> yang terpecah dan terpasang	35
Gambar 3.4	Permukaan pecahan dari <i>tire roller</i>	36
Gambar 3.5	Mesin <i>OES FOUNDRY-MASTER PRO</i>	38
Gambar 3.6	Kamera merk Canon tipe SLR EOS 1100D dan Mikroskop stereomicroscope	38
Gambar 3.7	Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF	39
Gambar 3.8	Mesin SEM –EDAX FEI type Inspect S-50.....	40
Gambar 3.8	Universal Hardness Tester HBRV 187.5A	40
Gambar 4.1	Desain <i>roller</i> pada <i>vertical roller mill</i>	41
Gambar 4.2	Pengamatan makro komponen <i>tire roller</i> gagal ...	42
Gambar 4.3	Pengamatan <i>crack initiation</i> dengan kamera dan <i>stereomicroscope</i>	43
Gambar 4.4	Pengamatan <i>crack propagation</i> dengan kamera dan <i>stereomicroscope</i>	44
Gambar 4.5	Pengamatan patah akhir dengan kamera dan <i>stereomicroscope</i>	45
Gambar 4.6	Pengamatan <i>crack initiation</i> dengan SEM perbesaran 250x dan 500x	47
Gambar 4.7	Pengamatan <i>crack propagation</i> dengan SEM perbesaran 200x dan 500x	48
Gambar 4.8	Pengamatan <i>final crack</i> dengan SEM perbesaran 100x dan 250x	49
Gambar 4.9	Struktur mikro <i>White Cast Iron Ni-Hard 4</i> perbesaran 50x pada material yang jauh dari patahan.....	51
Gambar 4.10	Struktur mikro <i>White Cast Iron Ni-Hard 4</i> perbesaran 100x pada material yang jauh dari patahan.....	51
Gambar 4.11	Struktur mikro <i>White Cast Iron Ni-Hard 4</i> perbesaran 200x pada material yang jauh dari	

	patahan.....	52
Gambar 4.12	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 500x pada material yang jauh dari patahan.....	52
Gambar 4.13	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 1000x pada material yang jauh dari patahan.....	53
Gambar 4.14	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 50x pada material yang dekat dari patahan.....	53
Gambar 4.15	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 100x pada material yang dekat dari patahan.....	54
Gambar 4.16	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 200x pada material yang dekat dari patahan.....	54
Gambar 4.17	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 500x pada material yang dekat dari patahan.....	55
Gambar 4.18	Struktur mikro <i>White Cast Iron</i> Ni-Hard 4 perbesaran 1000x pada material yang dekat dari patahan.....	53
Gambar 4.19	Grafik distribusi kekerasan	57

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia <i>Ni-Hard</i>	8
Tabel 2.2 Sifat mekanik <i>Ni-Hard</i>	9
Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin..	13
Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen mesin	14
Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan Dalam Komponen Mesin	15
Tabel 4.1 Dimensi Tire Roller PT. Semen Indonesia	42
Tabel 4.2 Data Operasi Vertical Roller Mill di Finish Mill 3 PT Semen Indonesia	42
Tabel 4.3 Hasil Komparasi Uji Komposisi	50
Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan	56

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang dahulu bernama PT. Semen Gresik (Persero) Tbk didirikan 25 Maret 1953. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk resmi berganti nama dari sebelumnya bernama PT Semen Gresik (Persero) Tbk. Perubahan nama itu juga diharapkan menjadi momentum untuk mempercepat akselerasi perusahaan agar dapat lebih tumbuh pada waktu mendatang. Pada tahun 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia sebesar 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Semen sendiri terdiri atas bahan baku utama dan bahan baku tambahan jika ditinjau dari segi fungsinya. Material yang termasuk bahan baku utama adalah batu kapur (CaCO_3), *clay* (tanah liat), pasir silika (SiO_2), *iron sand* (Fe_2O_3). Serta bahan baku tambahan dari semen adalah *trass*, *gypsum* dan dolomit. Proses produksi semen yang pertama yaitu penambangan bahan baku untuk pembuatan semen terutama batu kapur (CaCO_3) dan *clay* (tanah liat) menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik, yang kedua, bahan-bahan yang telah ditambang kemudian diteliti di laboratorium kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat dan kemudian dilanjutkan ke proses penggilingan awal (*raw mill*) untuk memperkecil dimensi material. Proses selanjutnya adalah bahan kemudian dipanaskan di *preheater*, dilanjutkan di dalam kiln sehingga bereaksi membentuk kristal klinker. Klinker ini kemudian dihaluskan lagi dalam tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja yaitu pada *ball mill* sehingga menjadi serbuk semen yang halus. Klinker yang telah halus ini disimpan dalam silo. Dari silo ini semen di *packing* dan dijual ke konsumen. (Semenpadang.co.id)



Pada industri semen memiliki banyak alat dalam proses produksi semen dari bahan berupa batuan hingga menjadi produk jadi berupa semen. Salah satu proses yang berperan penting dalam produksi semen adalah tempat penggilingan akhir (*finish mill*). Tempat ini berfungsi sebagai penggilingan akhir dari *clinker* yang dicampur dengan material aditif lain seperti *gypsum*, *trass*, *fly ash*, *dolomith* dengan kadar tertentu. Pada *finish mill* salah satu mesinnya yaitu *vertical mill*. *vertical mill* itu sendiri memiliki komponen yaitu *tire roller* merupakan roda penggiling menghaluskan *clinker* yang masuk. *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill* Tuban 7 PT. Semen Indonesia mengalami patah.

Patah yang terjadi pada *tire roller* diperkirakan karena *fatigue*, berdasarkan penelitian sebelumnya yang mengalami patah *fatigue* karena menerima pembebanan paling besar disatu titik sehingga menimbulkan *initial crack*, yang kemudian retak merambat sehingga mengalami patah. (Baharuddin, 2016). Hal ini serupa dengan permasalahan *tire roller* yang mengalami patah selalu di tempat yang sama karena adanya penumpukkan beban efek dari gaya sentrifugal yang bekerja saat beroperasi. Permasalahan patah yang terjadi pada *tire roller* sudah pernah terjadi sebelumnya. Kerusakan ini mengakibatkan penurunan produksi semen, dan *tire roller* yang patah harus diganti dengan yang baru. Untuk mencegah kegagalan yang sama, analisa kegagalan pada *tire roller* perlu dilakukan dalam penelitian ini dengan melakukan pengujian komposisi, pengujian makrostruktur dan mikrostruktur, pengujian kekerasan, dan pengamatan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Sehingga dari penelitian ini dapat membantu permasalahan yang terjadi di PT. Semen Indonesia Tbk.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Faktor apa yang menyebabkan kegagalan komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?



2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?
3. Bagaimana mengatasi kegagalan yang terjadi pada komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Desain *tire roller* memenuhi standar operasional
2. Pengaruh lingkungan diabaikan

1.4 Tujuan Percobaan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?
2. Menganalisa mekanisme kegagalan komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?
3. Memberikan solusi dari kegagalan yang terjadi pada komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill*?

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penanganan bila terjadi kegagalan yang sama dikemudian hari, dari segi penyebab keagalannya maupun segi solusi yang ditawarkan.
2. Dasar pengembangan pada ilmu pengetahuan berikutnya.



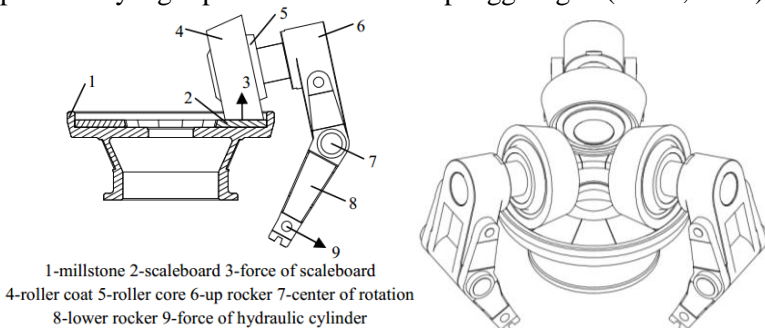
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vertical Roller Mill

Proses reduksi ukuran atau *comminution* pada industri pengolahan mineral sangat diperlukan dimana ukuran yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya agar berjalan dengan efektif sehingga menghasilkan produk yang lebih halus. *Vertical roller mill* banyak ditemukan pengaplikasiannya pada proses penggilingan di industri semen seperti pada proses bahan mentah, penggilingan akhir, dan pada penggilingan batu bara. Pada saat proses penggilingan merupakan gabungan dari penghancuran, penggilingan, klasifikasi, dan memungkinkan juga dapat dilakukan proses pengeringan sehingga dapat mengurangi jumlah peralatan yang diperlukan dalam *unit* penggilingan (Altun, 2016).



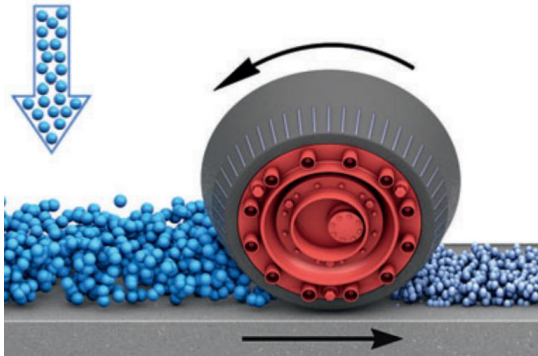
Gambar 2.1. Komponen utama *Vertical Roller Mill* (Jensen, 2010)

Vertical roller mill adalah kombinasi antara sistem pada *millstone* dan *rocker arm*, pada prosesnya *millstone* digerakkan oleh motor sehingga dapat berputar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, dan material masuk melalui bagian tengah dari *millstone*. dengan adanya gaya sentrifugal material yang berada diatas *millstone* digiling oleh *roller* yang diberikan tekanan oleh *hydraulic cylinder bears* sehingga material dapat tergerus (Cheng, 2011).



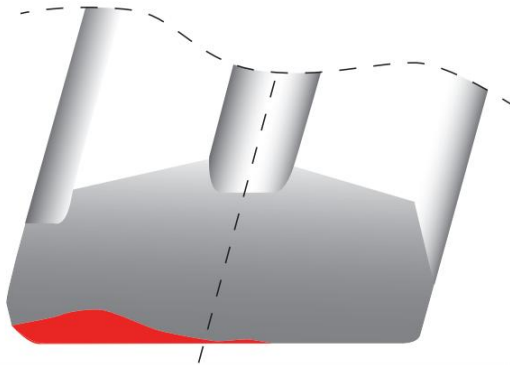
2.2. Tyre Roller

Pada *vertical roller mill* material yang masuk melalui *rotary feeder* yang kemudian akan jatuh pada bagian tengah *grinding bed*. Material bergerak diatas *grinding table* dipengaruhi oleh gaya sentrifugal, dan akan digiling oleh *roller penggiling*. Material yang telah digiling, dan ukurannya sudah mencukupi akan jatuh diantara *grinding bed* dan *roller*. *Roller* bergerak naik dan turun menyesuaikan dengan perputaran *grinding bed*.



Gambar 2.2. Proses penggilingan material oleh roller (Loesche, 2012)

Seperti pada Gambar 2.2 merupakan proses *grinding* dilakukan dengan penerapan gaya tekan, sejumlah kecil gaya geser membantu pergeseran lapisan kristalin pada bahan baku. Hal ini terjadi melalui roller yang berbentuk kerucut dengan sudut kemiringan 15° dengan lintasan *grinding track*. Tekanan yang lebih besar biasanya digunakan untuk menggiling batu bara, dan tekanan yang lebih rendah biasanya digunakan untuk menggiling *clinker*, dan *slag* yang dihasilkan *blast furnace*.



Gambar 2.3 Pola aus pemakaian pada *tire* Loesche (Loesche, 2012)

Hydropneumatic spring load pada *rocker arm* memiliki fungsi untuk menaikkan atau menurunkan *roller* dan juga sebagai pengatur tekanan yang diberikan kepada *roller* saat bekerja, dimana *roller* terhubung dengan *hydraulic unit*. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat pola aus yang terjadi pada *tire roller* saat beroperasi terkonsentrasi pada bagian terluar dari *tire* dikarenakan kemiringan dari *tire* dan gaya sentrifugal yang bekerja. (Loesche, 2012)

2.3. Material Tire Roller

2.3.1. Material standar (Ni-Hard)

Material dari *tire roller* yang seharusnya digunakan pada *vertical roll mill* di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban IV adalah material *Ni-Hard*. *Ni-Hard* merupakan sebutan umum untuk *white cast iron* yang dipadukan dengan nikel dan kromium agar menghasilkan sifat kekerasan dan ketahanan aus yang baik. *Ni-Hard* memiliki struktur mikro yang terdiri atas karbida dan martensitik-austenitik-bainitik atau didominasi oleh matriks martensitik. Struktur ini dapat diperoleh dengan komposisi yang tepat dari karbon, nikel, kromium, silikon, dan perlakuan panas yang diberikan (Rohrig, 1996). Pada Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari *Ni-Hard 1, 2, dan 4*.



Tabel 2.1 Komposisi Kimia Ni-Hard (Rohrig, 1996)

Grade	Chemical composition (weight %)							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
Ni-Hard 1	3,0-3,6	0,3-0,5	0,3-0,7	max 0,15	max 0,3	3,3-4,8	1,5-2,6	0-0,4
Ni-Hard 2	max 2,9	0,3-0,5	0,3-0,7	max 0,15	max 0,3	3,3-5,0	1,4-2,4	0-0,4
Ni-Hard 4	2,6-3,2	1,8-2,0	0,4-0,6	max 0,1	max 0,06	4,5-6,5	8,0-9,0	0-0,4

Kadar karbon pada Ni-Hard 4 dijaga pada 2,9-3,2% untuk memenuhi sifat antara kekuatan dan tahan abrasi, sehingga memiliki ketahanan patah yang tinggi dan tahan aus yang baik.

Kandungan krom pada Ni-Hard 4 dengan kadar 8-10% untuk memenuhi karbida eutektik $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ yang diinginkan. Pengaruh dari silikon pada formasi grafit telah tertutupi oleh adanya kadar krom yang mencukupi. Pada akhirnya krom meningkatkan kekerasan walaupun sebagian besar terkonsentrasi didalam fasa karbida. Meningkatkan kadar krom hingga 10% tidak menawarkan keuntungan, tetapi akan menyebabkan sulitnya transformasi dari austenit menjadi martensit.

Nikel dibutuhkan untuk meningkatkan kekerasan dan membantu krom dalam pembentukan karbida eutektik $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Kadar minimum dari Ni dijaga agar tetap pada 5% untuk menghindari terbentuknya fasa perlit ketika pendinginan lambat atau ketika diberikan perlakuan panas. Apabila kandungan Ni terlalu tinggi diatas 6,5% akan menyebabkan austenit sangat stabil, Jika kekerasan lebih tinggi diperlukan penambahan molibdenum adalah solusi yang lebih baik daripada penambahan kadar Ni.

Kandungan silikon yang tinggi pada Ni-Hard 4 diperlukan untuk memenuhi karbida eutektik $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Pada kadar 9% Cr, dan 3% C kandungan silikon yang diperlukan adalah sekitar 1,7%. Kandungan silikon yang rendah dapat merusak sifat tahan abrasi dan kekuatan. Kadar minimum silikon. Apabila kadar silikon berada diatas 2,0% akan menyebabkan presipitasi grafit, terutama jika kadar krom rendah, dan kadar



karbon yang tinggi. Sehingga kadar silikon yang dianjurkan adalah 1,8 - 2,0%. (Rohrig, 1996). Sifat mekanik dari beberapa tipe *Ni-Hard* seperti terdapat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Ni-Hard* (Rohrig,1996)

Type	Hardness			Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Impact Energy (J)
	Brinell	Vickers	Rockwell I C			
<i>Ni-Hard 1</i>						
<i>Sand cast</i>	550-690	640-750	56-63	280-350	169-183	28-41
<i>Chill cast</i>	600-730	700-860	58-65	350-420	169-183	35-55
<i>Ni-Hard 2</i>						
<i>Sand cast</i>	530-630	630-740	54-60	320-390	169-183	35-48
<i>Chill cast</i>	580-680	680-800	57-62	420-530	169-183	48-76
<i>Ni-Hard 4</i>	550-700	650-820	56-63	500-600	190-200	-

2.3.2. Besi Tuang (*Cast Iron*)

Secara umum, besi tuang merupakan bagian dari paduan besi dengan kadar karbon di atas 2,14%. Sebagian besar besi tuang mengandung antara 3,0-4,5% karbon, dengan tambahan beberapa unsur paduan (Callister, 2010). Besi tuang memiliki keuletan yang rendah, sehingga sulit untuk di-*machining*. Satu-satunya cara pembuatannya adalah dengan penuangan, karena itu disebut besi tuang. Penggunaan besi tuang cukup luas walaupun keuletannya lebih rendah dari baja, karena besi tuang memiliki beberapa sifat khusus yang berguna. Terutama jika dipadukan dengan unsur-unsur yang lain dengan perlakuan panas yang tepat.

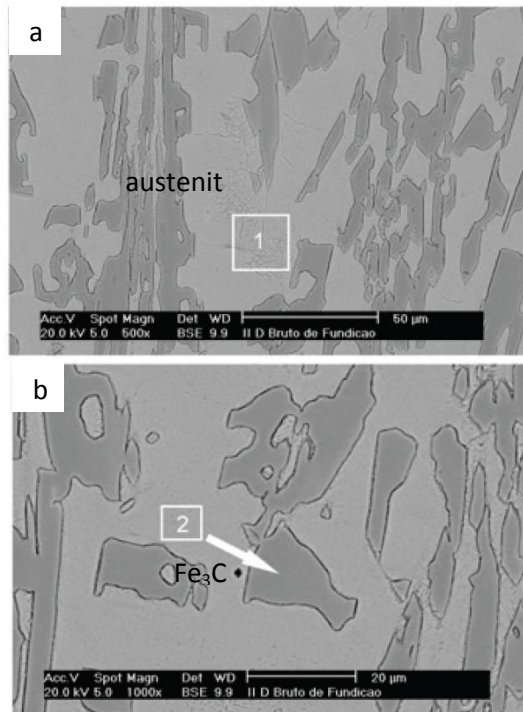
Menurut Sidney H. Avner (1974) secara umum besi tuang dikelompokkan menjadi:



- a. Besi tuang putih (*white cast iron*), di mana seluruh karbon berupa sementit.
- b. Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*), di mana karbonnya berupa *temper* karbon, dengan matriks perlitik atau ferritik.
- c. Besi tuang kelabu (*grey cast iron*), di mana karbonnya berupa grafit berbentuk *flake* (serpih) dengan matriks ferritik atau perlitik.
- d. Besi tuang nodular (*nodular cast iron*), di mana karbonnya berupa grafit nodular dengan matriks ferritik atau perlitik.

2.3.3. Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*)

Pada besi tuang putih, kadar karbon normalnya untuk kondisi *unalloyed* atau *low alloy* berkisar antara 2,2-3,6% (*ASM Handbook Vol. 1, 1991*). Besi tuang putih bersifat keras dan merupakan paduan yang getas dengan banyaknya kandungan Fe_3C . Struktur mikro dari besi tuang putih dapat dilihat pada Gambar 2.4 dengan perbesaran 500x dan perbesaran 1000x. Bagian yang ditunjukkan oleh angka 1 merupakan fasa austenit, sedangkan angka 2 menunjukkan fasa Fe_3C . Permukaan yang patah dari material ini akan berwarna putih, sesuai dengan namanya. Kelompok besi tuang putih dengan kandungan paduan yang tinggi dibuat untuk memanfaatkan sifat kekerasan dan ketahanan ausnya. Unsur paduan yang ditambahkan di antaranya adalah kromium, nikel, dan molibdenum. Dengan penambahan unsur paduan tersebut karbida akan terbentuk pada saat proses solidifikasi, dan martensit akan terbentuk pada proses perlakuan panas. (Askeland, 2010)



Gambar 2.4. (a) Struktur mikro besi tuang putih perbesaran 500x; (b) Struktur mikro besi tuang putih perbesaran 1000x (Ortega-Cubillos, 2015)

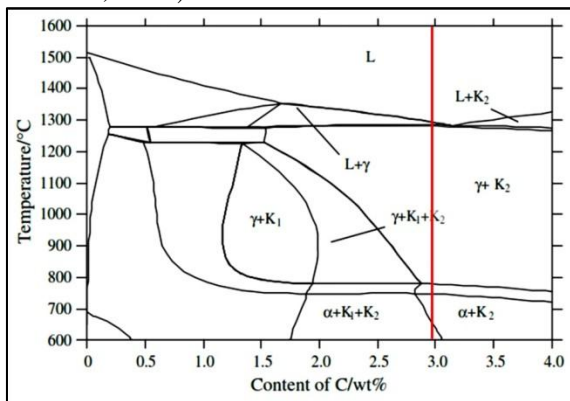
2.3.4. *High Chromium White Cast Iron*

Kandungan karbon yang normal untuk *high chromium white cast iron* adalah mulai 2,2% untuk komposisi eutektik, sekitar 3,5% untuk 15% Cr dan 2,7% untuk 27% Cr (ASM Handbook Vol. 1, 1991). *High chromium white cast iron* memiliki sifat ketahanan abrasi yang sangat baik sehingga dimanfaatkan untuk material *slurry pumps*, *brick molds*, *coal-grinding mills*, *rolling mill rolls*, peralatan *shot blasting*, komponen *quarrying*, serta *hard rock mining* dan *milling*. Dalam beberapa aplikasi, material ini juga diharapkan mampu menahan beban *impact* yang



tinggi. Paduan ini diakui memiliki perpaduan yang baik untuk sifat keuletan dan ketahanan abrasi.

Karbida pada *high chromium white cast irons* sangat keras, getas, dan memiliki ketahanan aus yang baik. Secara umum ketahanan aus dapat ditingkatkan dengan menambahkan jumlah karbida (menambahkan komposisi karbon), sedangkan ketangguhan dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah *metallic matrix*. Pada Gambar 2.5 yang merupakan gambar diagram fasa ekuilibrium dari *high chromium white cast*. (ASM Handbook Vol. 4, 1991)



Gambar 2.5. Diagram fasa ekuilibrium *high chromium white cast iron* dengan kadar kromium 25% (Li, et al, 2009)

Berdasarkan kandungan karbon dan kromium, maka struktur mikro dari *high chromium white cast iron* dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu: *eutectic alloys*, *hypoeutectic alloys*, dan *hypereutectic alloys* (Nurjaman, 2012). Material *tire roller* yang mengalami kegagalan termasuk dalam kelompok *high chromium white cast iron* dengan kandungan karbon sebanyak 2,99% dan kromium sebanyak 25,2%. Karena komposisi yang dimiliki, material tersebut termasuk ke dalam kelompok *hypoeutectic alloys*. Pada struktur *hypoeutectic alloys*, kandungan karbon lebih rendah dari titik eutektik. Proses solidifikasi diawali dengan pembentukan dendrit dari matriks (austenit) pada rentang



temperature solidifikasi tertentu hingga mencapai temperature eutektik. Kemudian proses berlanjut dengan pembentukan struktur eutektik (Nurjaman, 2012).

2.4. Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks,2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Table 2.3. Permasalahan Dalam Kegagalan Komponen Mesin

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11



Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

2. Perawatan komponen yang kurang baik
 Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.4 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.4. Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan
 Komponenmesin

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

3. Kesalahan dalam perancangan komponen
 Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:
 1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
 2. Kegagalan getas akibat beban kejut
 3. Kegagalan pada temperature tinggi (pemuluran)
 4. *Static delayed fracture*
 5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
 6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*



7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.
4. Kondisi kerja yang ekstrim
Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Penyebab Kegagalan Dalam Komponen Mesin

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran (<i>creep</i>)	3
Abrasi, Erosi	3

2.5 Prosedur dalam analisa kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

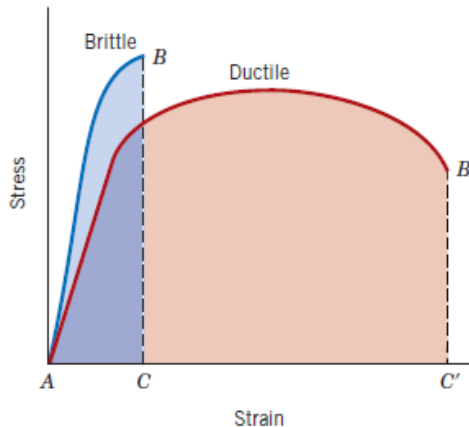
1. Material yang digunakan
 - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
 - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
 - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
 - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*



- f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
 - b. Atmospher : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
3. Uji percobaan
 - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan leleh, kekerasan patahan.
 - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

2.6. Patahan Ulet dan Getas

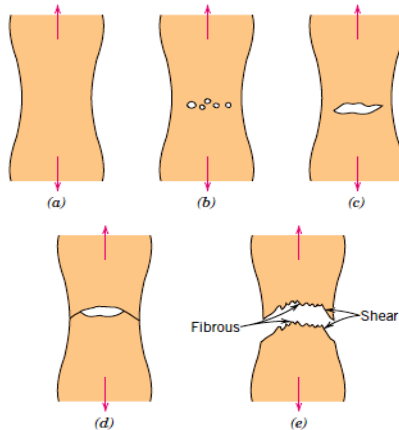
Patahan adalah ketika sebuah material menjadi dua atau lebih karena adanya tegangan yang statik dan tempertaur relatif rendah dari titik leleh material tersebut. Tegangan yang bekera pada material tersebut dapat berupa tegangan tarik, kompresi, tegangan geser maupun puntir. Terdapat dua jenis patahan yang dapat terjadi yaitu patahan ulet dan patahan getas, jenis patahan ini berdasarkan dari kemampuan material menerima deformasi plastis ketika diberi pembebanan. Material ulet memiliki deformasi plastis yang tinggi, sedangkan pada material getas memiliki deformasi plastis yang rendah. Proses terjadinya patah diawali dengan terbentuknya retak dan perambatan retak sebagai akibat dari tegangan yang dialami oleh material tersebut. Pada gambar 2.6 menunjukkan diagram tegangan regangan dari material ulet, dan material getas ketika diberi pembebanan sehingga mengalami patah.



Gambar 2.6. Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan (Callister,2007)

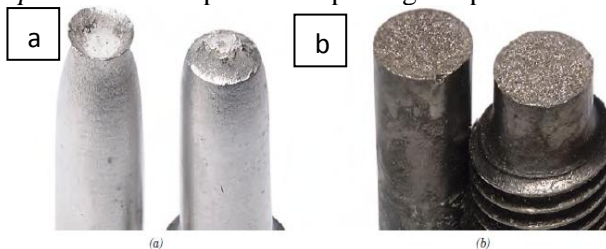
2.6.1 Patahan Ulet

Patahan material ulet akibat tegangan tarik diawali dengan adanya necking yaitu pengcilan luasan setempat, kemudian terbentuknya *cavities* kecil atau *microvoid* pada material. Kemudian seiring bertambahnya deformasi akibat tegangan yang bekerja pada material *microvoid* tersebut membesar, dan menyatu antara *microvoid* satu dengan yang lainnya. Kemudian terbentuk retak berbentuk elips yang tegak lurus dengan arah pembebanan, retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan sesuai dengan Gambar 2.7 yang menjelaskan skema tahap patahan hingga selanjutnya patahan terbentuk dengan perambatan retak yang cepat disekitar area necking.



Gambar 2.7. Tahap patahan cup and cone (a) awal *necking*, (b) terbentuknya cavity kecil, (c) pengumpulan *cavity* hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan (Callister, 2007)

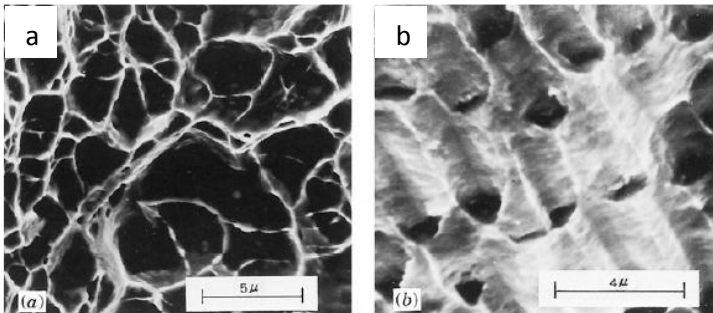
Pada pengamatan secara makroskopis patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Gambar 2.8 menunjukkan patah ulet *cup and cone* dan perbedaan patah getas pada mild steel



Gambar 2.8. (a) patah ulet (*cup and cone*) pada aluminium, dan (b) patah getas pada mild steel (Callister, 2007)

Patahan ulet memiliki karakteristik yaitu kontur yang menyerupai *cup* dan *cone*. Material yang memiliki patahan yang seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur dimana hal ini

menandakan deformasi plastis. Untuk mengetahui lebih lanjut menggunakan *Scanning Electron Microscope* untuk mengamati bentuk crack, patahan pada resolusi yang dan kedalaman observasi yang lebih tinggi. pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjaralan retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada gambar 2.9.

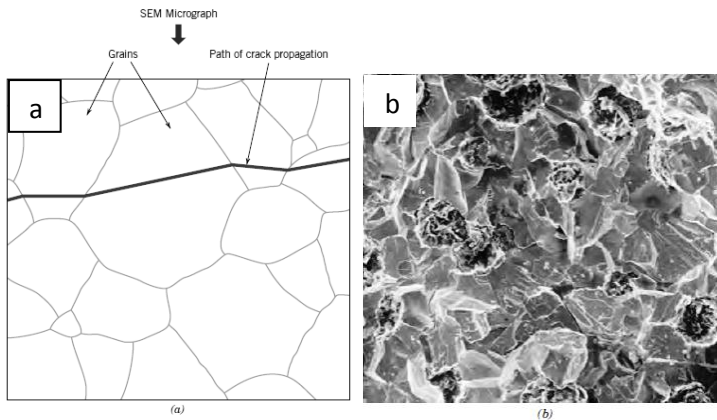


Gambar 2.9. (a) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik, patahan hasil beban tarik *uniauxial*, 3300×, dan (b) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik hasil beban geser, 5000x (Callister,2007)

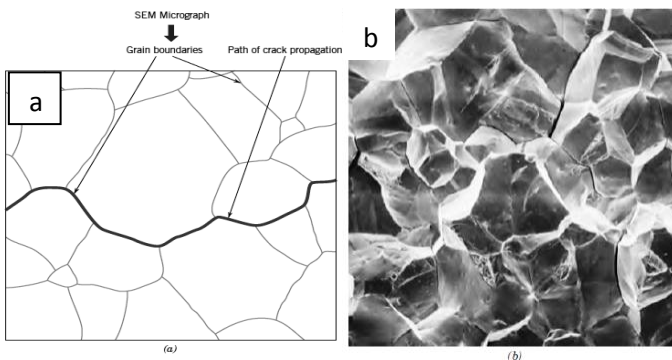
2.6.2 Patah Getas

Patah getas sering terjadi tanpa adanya atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Retak/ patahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (transgranular). Kemudian pada material lunak dengan butir kasar(*coarse grain*) maka dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevron s*

Seperti Gambar 2.10(a) atau patah getas permukaan terlihat garis atau daerah asal retakan disebut *fan pattern* seperti pada Gambar 2.10(b). Untuk hasil perambatan dan SEM, dapat terlihat jelas untuk retak yang melewati batas butir (*transgranular*) dan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) pada gambar 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.10. (a) skema perambatan retak yang melewati butir (*transgranular*) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular (Callister,2007)



Gambar 2.11 (a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) (b) hasil SEM dari patah secara *intergranular* (Callister,2007)

2.7. Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

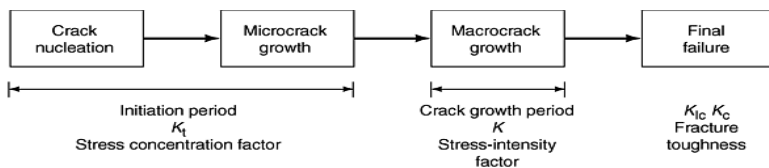
Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjaralan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka



beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*).

Menurut Schijve, terdapat 5 fase yang selama proses *fatigue*, yaitu seperti pada Gambar 2.12 yang menunjukkan diagram alir dari mekanisme patah lelah : (*ASM Handbook Committee Volume 19, 2002*):

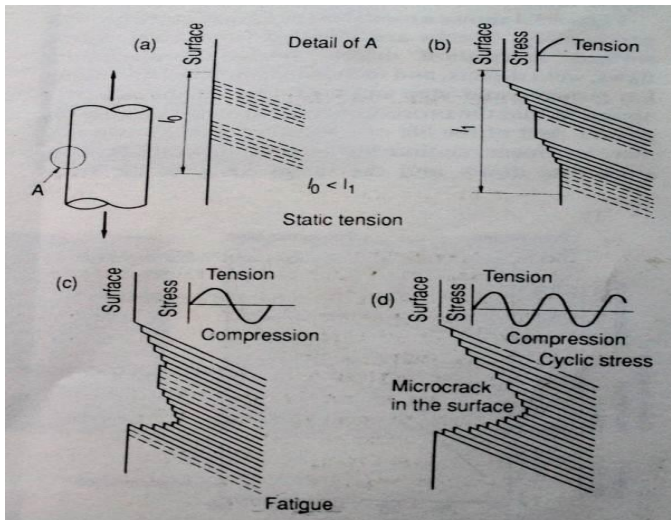
1. *Cyclic slip*
2. *Crack nucleation*
3. *Growth of microcrack*
4. *Growth of macrocrack*
5. *Final failure*



Gambar 2.12 Mekanisme patah lelah dan faktornya (*ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture,2002*)

2.7.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood. Beberapa model diberikan dalam menjelaskan *fatigue crack* pada Gambar 2.13.



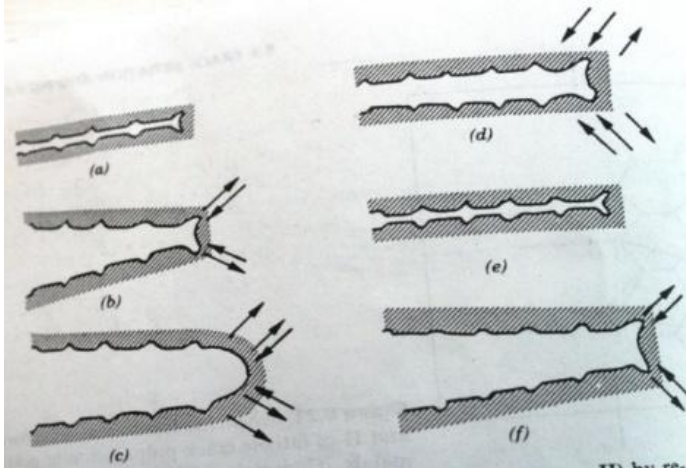
Gambar 2.13. Model Wood untuk pengintian retak (Nishida, Shin-ichi, 1992)

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

2.7.2 Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.14 dibawah ini.



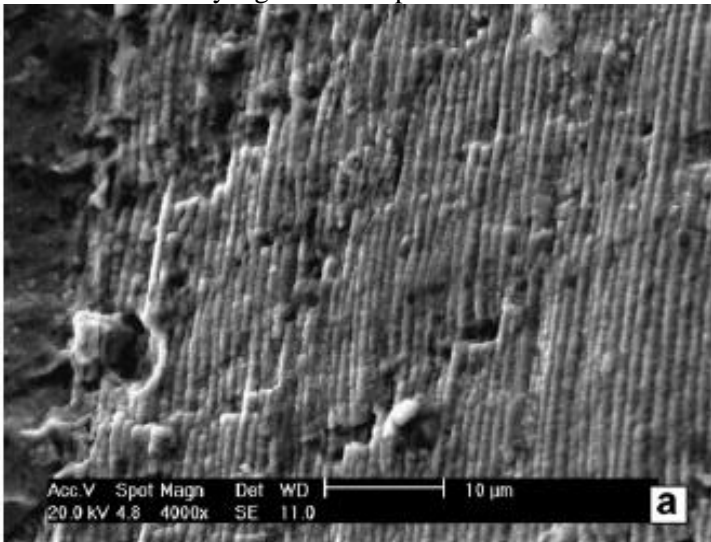
Gambar 2.14. Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban-tekan maksimum (e) beban nol (f) beban tekan minimum (Callister,2007)

2.8. Karakteristik Patahan

Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari modus dan penyebabnya adalah patah ulet, patah getas, patah lelah (*fatigue*), dan patah merangkak (*creep/monotonic*). Masing-masing dari jenis patahan diatas memiliki karakteristik tersendiri. Berikut adalah karakteristik dasar untuk membedakan jenis patah lelah dengan patah merangkak, jenis patah getas dengan patah ulet pada skala makro, dan jenis patah getas dengan patah ulet pada skala mikro (ASM Handbook Committee Volume 12, 2002):



Perbedaan karakteristik antara patah lelah dengan patah merangkak . *Beachmarks* dan striasi mengindikasikan patah lelah, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak terlihat. Pertanda kehadiran beach marks bisa diketahui melalui pengamatan makro menggunakan *stereomicroscope*, dan striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan *SEM fractography* (Gambar 2.15). Profil *beachmarks* dan striasi ini merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.



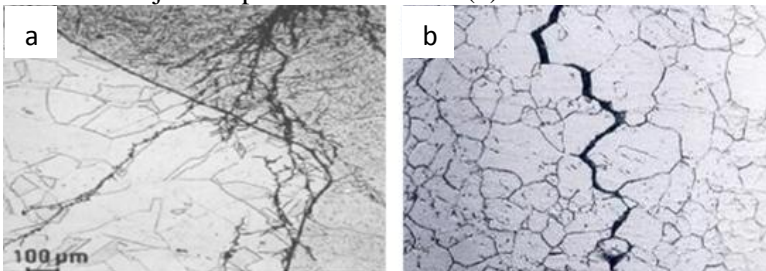
Gambar 2.15 Foto SEM yang menunjukkan Beachmarks dan striasi secara mikro (Poursaedi, 2005)

Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala makro. Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pola patah getas ditunjukkan dengan permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, serta tanpa adanya petunjuk bahwa telah terjadi deformasi plastis sebelum benda mengalami patah. Selain kedua karakteristik diatas, terdapat pola patahan gabungan (*mix-mode*

appearance) baik patah getas yang bertransformasi jadi ulet ataupun patah ulet yang bertransformasi menjadi getas. Kebanyakan kasus yang terjadi adalah patah getas bertransformasi menjadi patah ulet. Contoh ciri patah ulet ditunjukkan pada Gambar 2.16.

Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala mikro. Pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjalaran retakan mikro (*micro voids coalescence*). Sedangkan patah getas ditandai dengan salah satu dari fenomena berikut:

- a. Patahan melintasi butiran atau patah transgranular, dikenal dengan nama *cleavage*, ditunjukkan pada Gambar 2.16 (a)
- b. Patahan melewati batas butir atau patah intergranular, dikenal dengan nama *intergranular embrittlement*, ditunjukkan pada Gambar 2.16 (b)



Gambar 2.16. Retakan dengan pola rambatan (a)Transgranular (b) Intergranular (Colangelo, 1989)

2.9. Penelitian Sebelumnya

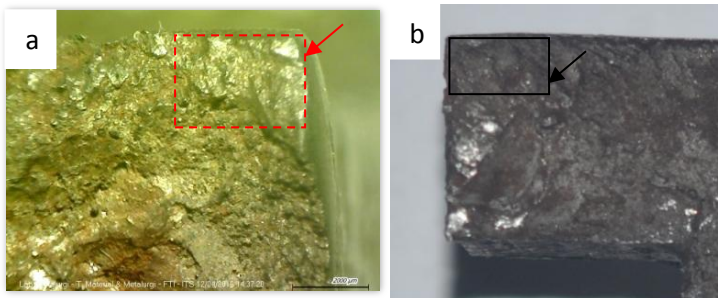
2.9.1. Analisa Kegagalan *Rocker Arm* Pada *Vertical Roller Mill*

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *rocker arm*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen *rocker arm*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi menunjukkan komposisi yang sesuai dengan cast steel DIN 1681 GS 60 dimana



standar ini banyak digunakan sebagai acuan pembuatan *rocker arm*.

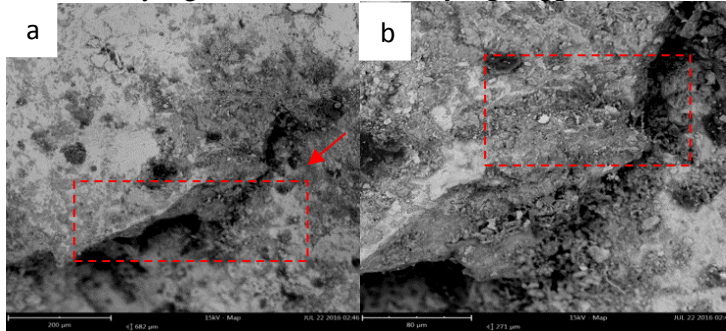
Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan *stereomicroscope* Gambar 2.17 (b) initial crack dengan menggunakan bantuan kamera SLR dan gambar 2.17 (a) menggunakan *stereomicroscope* dengan perbesaran 8 kali. Pengamatan pada gambar 2.17 (b) yaitu pada permukaan *rocker arm* menggunakan bantuan Kamera SLR terdapat adanya awal retak (*crack initiation*) ditunjukkan tanda panah yang kemudian arah retakannya menjalar (*crack propagation*) ke samping kiri. Kemudian dari *initial crack* tadi patahan berlanjut ke *propagation* atau penjalaran patah.



Gambar 2.17 (a) Pengamatan *crack initiation* dengan Stereomicroscope perbesaran 8kali. ; (b) pengamatan *crack initiation* dengan kamera SLR. (Baharuddin, 2016)

Berdasarkan hasil pengamatan SEM yang lebih jelas lagi Pada gambar 2.18 memperlihatkan daerah *initial crack* pada *rocker arm* dengan menggunakan sem perbesaran 400x dan 1000x. Di tandai dengan adanya permukaan yang lebih rendah dibandingkan permukaan yang lain. Daerah ini diambil tepat pada daerah kuping *rocker arm* tempat dimana *dowell* dipasang, yang mendapatkan pembebanan paling besar pada saat *rocker arm* bekerja. Dari sini terlihat bahwa *rocker arm* telah mengalami *fatigue crack brittle* dengan arah retakan yang tegak lurus dengan pembebanan. Pada daerah awal retak ini tidak terdapat *beachmark* dan striasi yang berarti komponen ini menerima beban dinamis

lebih sedikit dibandingkan beban statisnya. Hal ini sesuai dengan sifat material yang memiliki kekerasan yang tinggi.



Gambar 2.18. (a) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 400x ; (b) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 1000x (Baharuddin, 2016)

Pada gambar b adalah daerah perambatan retak pada *rocker arm* yang mengalami kegagalan dimana terlihat adanya perbedaan ketinggian secara nyata dan juga warna yang lebih gelap dibandingkan daerah awal retak. Daerah ini terlihat adanya butiran butiran kasar yang merupakan ciri dari patah getas. Disini terlihat dengan Jelas patahan yang melintasi butiran atau patah transgranular. Patah *Transgranular* Ini ditandai dengan adanya pola patahan dipermukaan yang memiliki bentuk butir butir kasar yang dan tersebar acak di permukaan patahan. Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan mengenai kegagalan *rocker arm* pada *vertical roller mill* faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* yaitu *fatigue brittle failure* (Baharuddin, 2016)

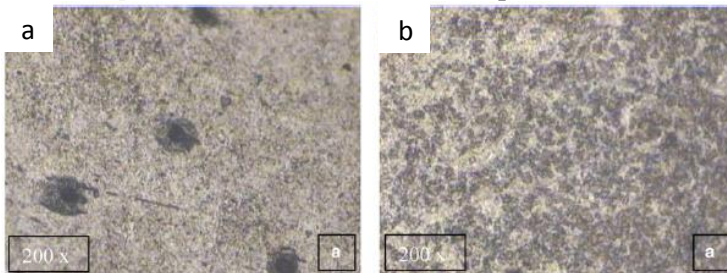
2.9.2. Kegagalan pada *Crank Shaft* Silinder Tunggal pada Mesin Diesel

Analisa kimia dari dua *crank shaft* yang patah ini menggunakan *spectrometer*. Komposisi kimia dari *crank shaft* ini menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah baja karbon *medium* tipe AISI 4140. Baja ini memiliki *hardenability* yang



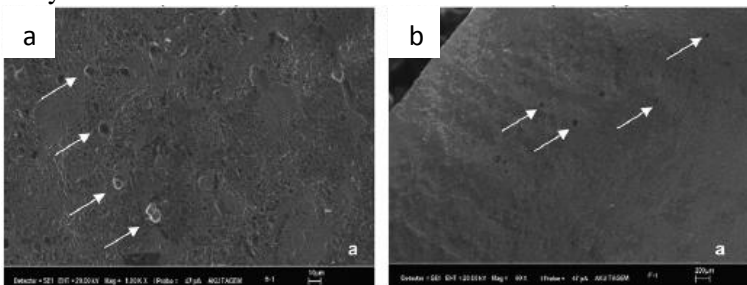
tinggi dan kelelahan yang baik, ketahanan abrasi dan dampak yang baik, dan dapat dibentuk dengan *cold* atau *hot forging*.

Mikrostruktur dari kedua *crankshaft* dapat dilihat pada Gambar 2.19. Perbedaan antara dua mikrostruktur tersebut memberikan indikasi salah satu *crankshaft* dilakukan perlakuan panas. Dapat dilihat bahwa *crank 2* memiliki lapisan permukaan yang dikeraskan sedangkan *crank 1* tidak. *Crack 2* memiliki struktur *tempered martensite* di dekat daerah permukaan.



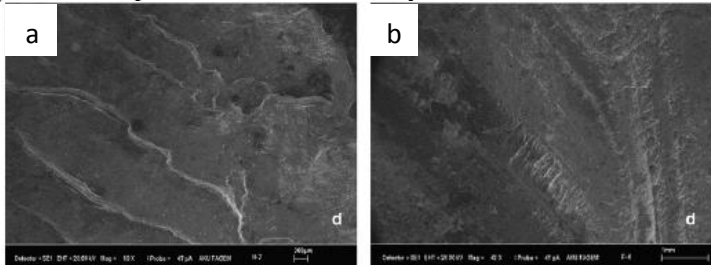
Gambar 2.19 Mikrostruktur lapisan permukaan dengan perbesaran 200x pada (a) *crank 1* (b) *crank 2* (Bayrakceken, 2007)

Fotografi SEM pada kedua permukaan patah *crankshaft* dapat dilihat pada Gambar 2.19. Daerah hitam pada Gambar 2.19 yang merupakan rongga dan gundukan dapat dilihat pada Gambar 2.20 yang diberi tanda anak panah. Lokasi ini dapat menginisiasi adanya retakan lelah.



Gambar 2.20 Mikrografik SEM pada permukaan yang patah pada (a) *crank 1* (b) *crank 2* (Bayrakceken, 2007)

Patahan yang terjadi akibat dari proses lelah dapat disimpulkan dari striasi *benchmark* pada permukaan patah yang diperlihatkan pada Gambar 2.21. (Bayrakceken, 2007)



Gambar 2.21 Mikrografik SEM yang menunjukkan adanya garis *benchmark* pada (a) *crank* 1 (b) *crank* 2 (Bayrakceken, 2007)

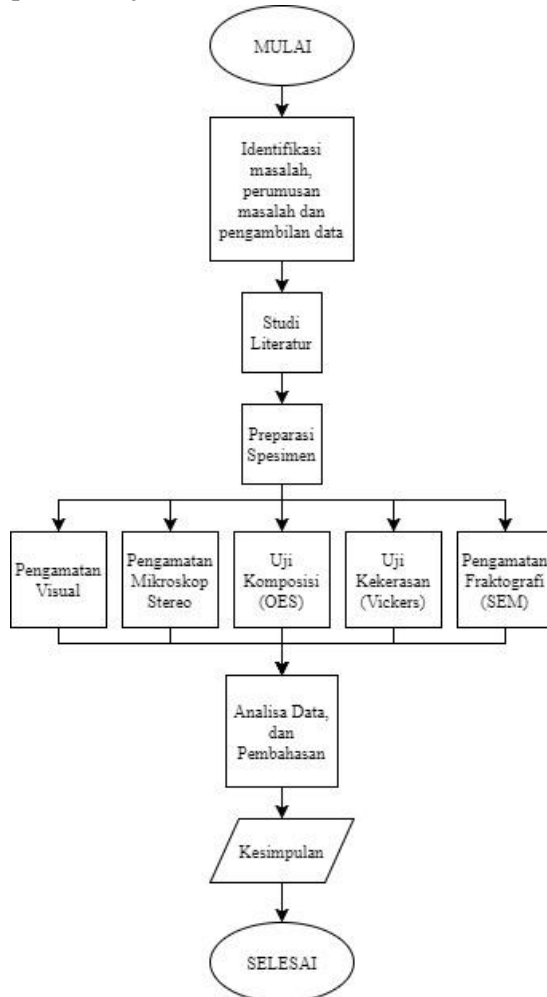


(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Percobaan

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literature. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

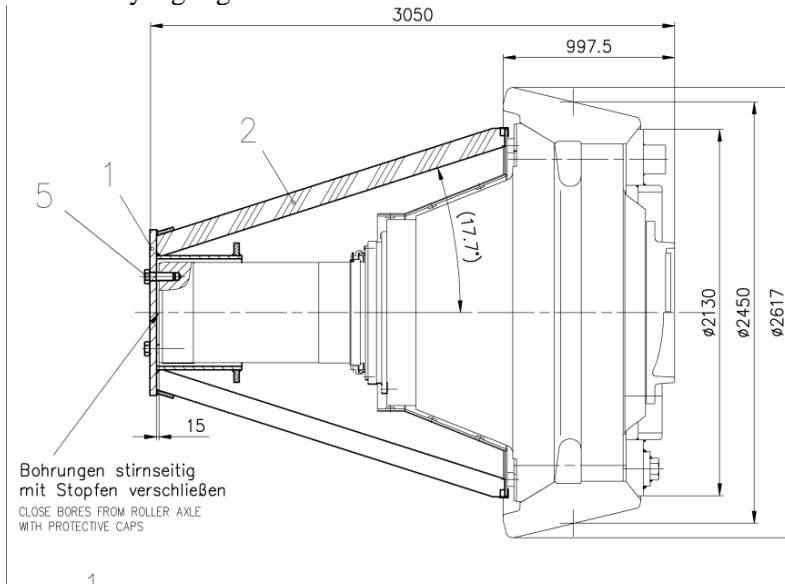
Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan pada *rocker arm*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengamatan bentuk *crack* dengan mikroskop optik dan SEM, pengamatan mikro dengan SEM, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer dan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *rocker arm*.

3.3. Spesifikasi *Vertical Roller Mill*

Vertical roller mill pada *finish mill* di PT Semen Indonesia menggunakan produk *vertical roller mill* dari Loesche, dimana Loesche merupakan perusahaan alat berat seperti *grinding machine, mill, dan crusher* yang banyak digunakan di industri semen maupun industri pengolahan mineral lainnya. Pada Gambar 3.2 merupakan gambar desain standar dari *roller mill* dari Loesche yang digunakan pada PT Semen Indonesia dimana *tire roller* yang digunakan memiliki diameter 2617 mm.



Gambar 3.2. Gambar desain *roller mill* (Loesche, 2007)

3.3.1. Data Operasional Kerja *Vertical roller mill*

Merk *vertical roller mill*: Loesche *Vertical Roller Mill*

Tahun Pembuatan : 2007

Debit *feed* material : 235 Ton/jam

Daya : 600 KW

Kecepatan putar : 22 rpm



Tekanan pada roller	: 90 bar
Temperatur kerja	: 89°
Umur pakai <i>tire roller</i>	: desain 2 tahun lapangan 6 bulan <i>spalling</i> 25 mm
<i>Maintenance</i>	: Pemeliharaan rutin 1 bulan
Material standar	: Ni-Hard 4

3.4. Material *Tire Roller*

1. Material

Pada tanggal 3 Januari 2017 terdapat komponen mesin yaitu *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill* Pabrik Tuban 4 pecah menjadi 2 bagian yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 (a) merupakan pecahan besar dari *tire roller*, dan Gambar 3.3 (b) adalah komponen *tire roller* yang masih terpasang pada *vertical roller mill*.





Gambar 3.3. a.) Komponen *tire roller* yang terpecah. b.) Bagian *tire roller* yang masih terpasang.

2. Spesimen

Komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* di *finish mill* yang mengalami kegagalan sehingga menghasilkan pecahan besar, dan pecahan kecil. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa pecahan kecil dari permukaan patahan *tire roller* seperti pada Gambar 3.4 yang merupakan bagian terluar dari *tire roller* yang pecah.



Gambar 3.4 Permukaan pecahan dari *tire roller*

3.5. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini antara lain :

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen
2. Alat Pemotong
Digunakan untuk memotong spesimen
3. Kamera *smartphone*
Digunakan untuk mengambil informasi gambar kegagalan
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji
5. *Hardness test*
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material uji
6. Kertas amplas grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk melakukan preparasi pengujian mikroskopik
7. Mesin *Polish*
Digunakan untuk melakukan preparasi pengujian mikroskopik



8. Larutan Etsa
Digunakan untuk melakukan preparasi pengujian mikroskopik
9. Resin
Digunakan untuk melakukan preparasi pengujian mikroskopik
10. Mesin SEM – EDX
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara topografi permukaan

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *tire roller* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu sebagai berikut :

1. Desain standar *vertical roller mill*, dan *tire roller*
2. Data operasi penggunaan mesin
3. Data pemeliharaan

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan *tire roller* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* dan *sectioning*.

3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* seperti pada Gambar 3.5 yang merupakan mesin OES yang digunakan yang digunakan oleh Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) untuk mengetahui komposisi yang ada pada *tire roller*.



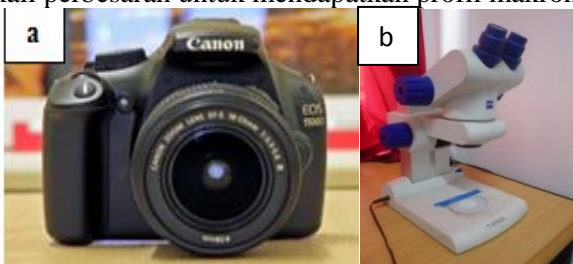
Gambar 3.5 Mesin OES *FOUNDRY-MASTER PRO*

3.5.4 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan mikroskop optik.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera *mirrorless* seperti pada Gambar 3.6.a untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui mikroskop stereo seperti pada Gambar 3.5.b terhadap sampel material dengan beberapa kali pembesaran untuk mendapatkan profil makronya.



Gambar 3.6 (a) Kamera merk Canon tipe SLR EOS 1100D. (b) Mikroskop stereomicroscope

3.5.5 Pengamatan Mikroskopik

Pada pengamatan Mikroskopik dilakukan dengan menggunakan alat, yaitu :

Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan sebuah alat yang digunakan untuk melihat struktur mikro dari sebuah material dengan perbesaran 50x hingga 1000x



Gambar 3.7 Mikroskop Optik Olympus BX51M-RF

Scanning Elektron Mikroskop (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menganalisa permukaan dari objek solid secara langsung. Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui pola patahan yang terjadi. Mesin SEM yang digunakan adalah mesin SEM –EDAX FEI type Inspect S-50 seperti yang ada pada Gambar 3.8

Langkah-langkah yang dilakukan dalam *fractography* menggunakan SEM adalah sebagai berikut :

1. Spesimen yang telah dipotong dibersihkan dengan hati-hati menggunakan *blower* untuk menghilangkan debu dan pengotor ringan lainnya.
2. Spesimen diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah dilekatkan dengan *carbon tape*. *Carbon tape* berfungsi untuk melekatkan *holder* dengan sampel
3. Spesimen yang telah berisi *holder* dimasukkan kedalam mesin SEM , dan dilakukan proses pengamatan. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dengan berbagai perbesaran yang bisa diatur sesuai keinginan.



Gambar 3.8 Mesin SEM –EDAX FEI type Inspect S-50

3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Brinell dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 187.5 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Gambar 3.9. merupakan gambar dari mesin uji kekerasan yang digunakan dengan tipe Universal Hardness Tester HBRV 187.5A.

Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.



Gambar 3.9 Universal Hardness Tester HBRV 187.5A

BAB IV

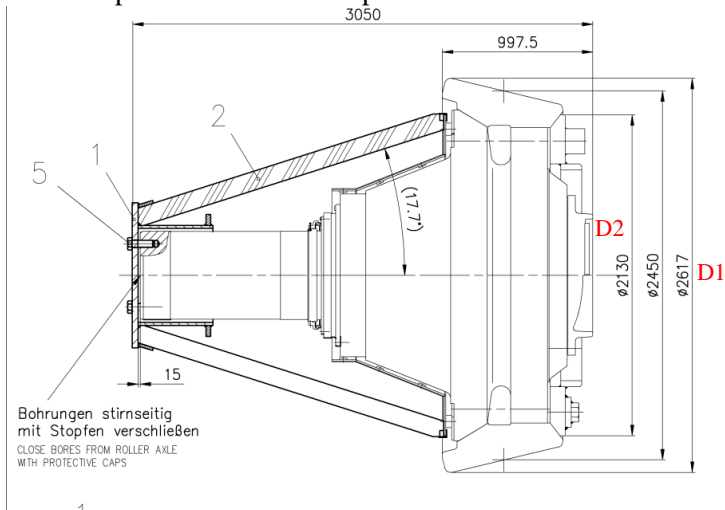
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Record *Tire Roller* di *Vertical Roller Mill*

Pada bulan Januari 2017, PT. Semen Indonesia sedang melaksanakan *maintenance* rutin. Kemudian pada *Finish Mill* Tuban 3 ditemukan sebuah patahan dari *tire roller* yang merupakan bagian dari *roller* pada *vertical roller mill*. Komponen *tire roller* ini sudah berumur lebih dari 1 tahun dan sudah mengalami *repair welding* untuk memperbaiki permukaan yang mengalami *spalling* akibat aus yang terjadi. Menurut operator, kasus patahnya *tire roller* ini sudah sering terjadi dan patah di daerah yang sama, yaitu dibagian terluar dari *tire roller* pada Gambar 4.1 ditunjukkan pada diameter 1 sehingga sangat mengganggu proses produksi. Material dari standar *tire roller* menggunakan *Ni-Hard 4*.

Berikut merupakan data-data dari *tire roller* mencakup desain dan spesifikasi dari *roller* pada *vertical roller mill*.



Gambar 4.1. Desain *roller* pada *vertical roller mill*



Tabel 4.1. Dimensi Tire Roller PT. Semen Indonesia

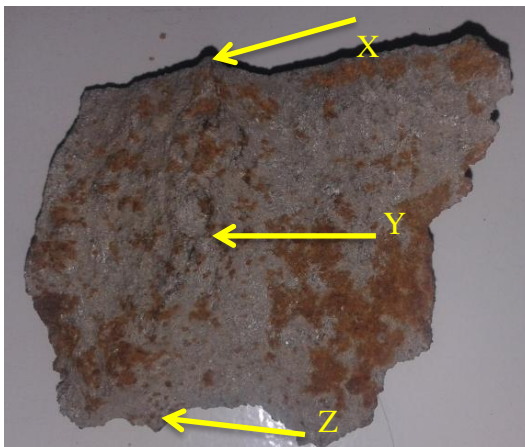
Diameter 1	2617 mm
Diameter 2	2130 mm
Panjang	997,5 mm

Tabel 4.2. Data Operasi Vertical Roller Mill di Finish Mill 3 PT Semen Indonesia

Data Operasi	
Daya	600 kw
Kecepatan Putar	22 RPM
Gaya hidrostatik	900 bar
Vibrasi	7-10 mm/s

4.1.2 Pengamatan Hasil Makro

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro dengan menggunakan bantuan kamera pada daerah komponen *tire roller* yang mengalami kerusakan terlihat pada Gambar 4.2 merupakan pecahan kecil dari *tire roller* yang diperoleh dari PT Semen Indonesia.



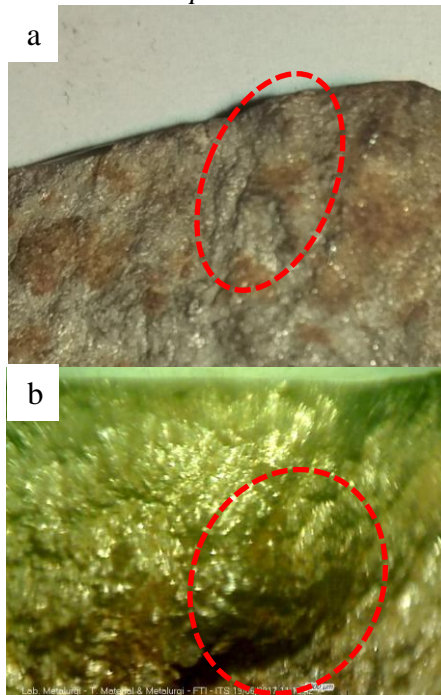
Gambar 4.2 Pengamatan makro komponen *tire roller* gagal

terlihat kegagalan pada *tire roller* bermula dari bagian tengah atas dan menjalar sampai kebawah. Lalu kemudian dapat

ditentukan pada Gambar 4.2 dibagi menjadi 3 daerah yaitu retak awal (*initial crack*) pada daerah X, penjarangan retak (*crack propagation*) pada daerah Y, dan retak akhir (*final crack*) pada daerah Z.

4.1.3 Hasil *Stereomicroscope*

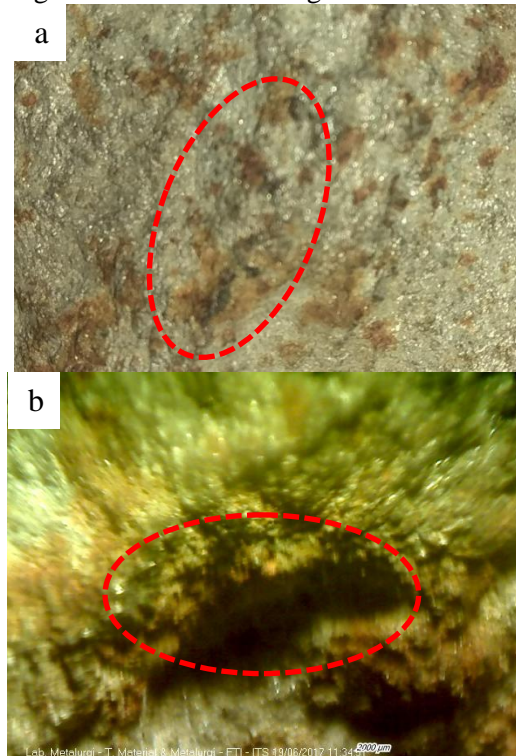
Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan *stereomicroscope* dengan perbesaran yang lebih besar daripada kamera sehingga retakan yang terjadi dapat terlihat dengan lebih jelas. Pengamatan pada Gambar 4.3 (a) yaitu pada permukaan *tire roller* menggunakan bantuan kamera terdapat adanya awal retak (*crack initiation*) dan Gambar 4.3(b) pengamatan dengan menggunakan *stereomicroscope*



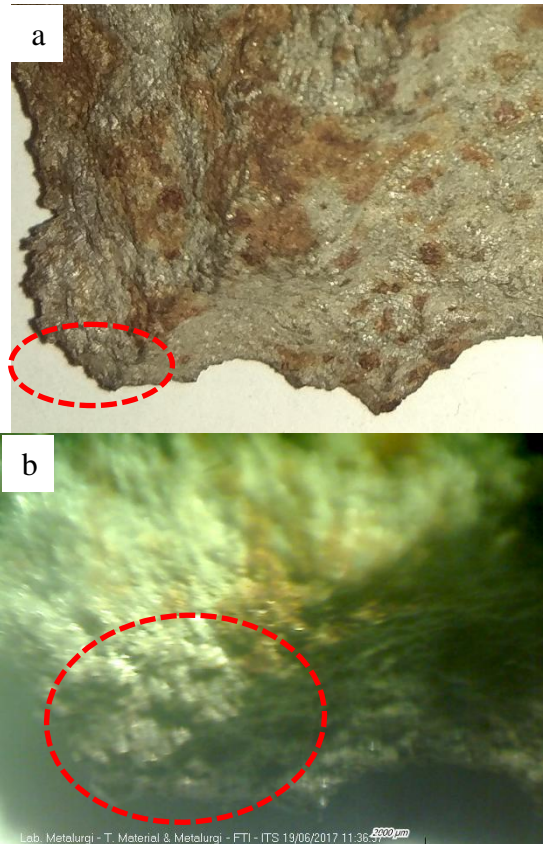
Gambar 4.3 (a) pengamatan *crack initiation* dengan kamera; (b) pengamatan *crack initiation* dengan *Stereomicroscope* perbesaran 8 kali



Kemudian dari *initial crack* tadi patahan berlanjut ke *propagation* atau penjararan patah pada Gambar 4.4 (b) arah yang ditunjukkan pada tanda panah *crack propagation*, warna dari permukaan patah lebih gelap di dibandingkan dengan warna crack initiation yang memiliki warna terang



Gambar 4.4 (a) pengamatan *crack propagation* dengan kamera;
(b) pengamatan *crack propagation* dengan *Stereomicroscope* perbesaran 8 kali



Gambar 4.5 (a) Pengamatan patah akhir dengan kamera; (b) Pengamatan patah akhir dengan *stereomicroscope* perbesaran 8 kali

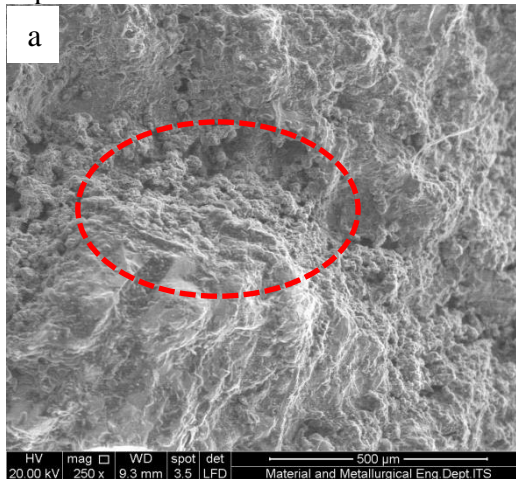
Lalu setelah dari *propagation* di lanjut ke bagian patah akhir (*final crack*) yang di tunjukkan pada Gambar 4.5 menunjukkan kontur permukaan dari patah akhir yang kasar, hal ini di sebabkan karena pada patah akhir (*final crack*) mendapatkan pembebanan yang terus menerus. Pada skala makro juga di tunjukan adanya perubahan tinggi pada penampang komponen. Meninjau hasil pengamatan makro dengan

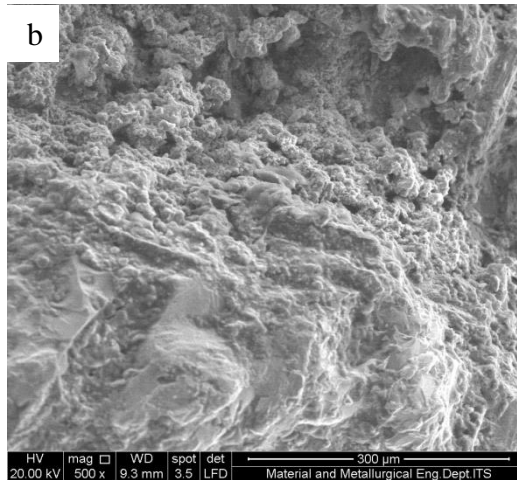


menggunakan *stereomicroscope* tampak patahan yang terjadi pada permukaan *tire roller* dapat di kategorikan patah getas.

4.1.4 Hasil Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)

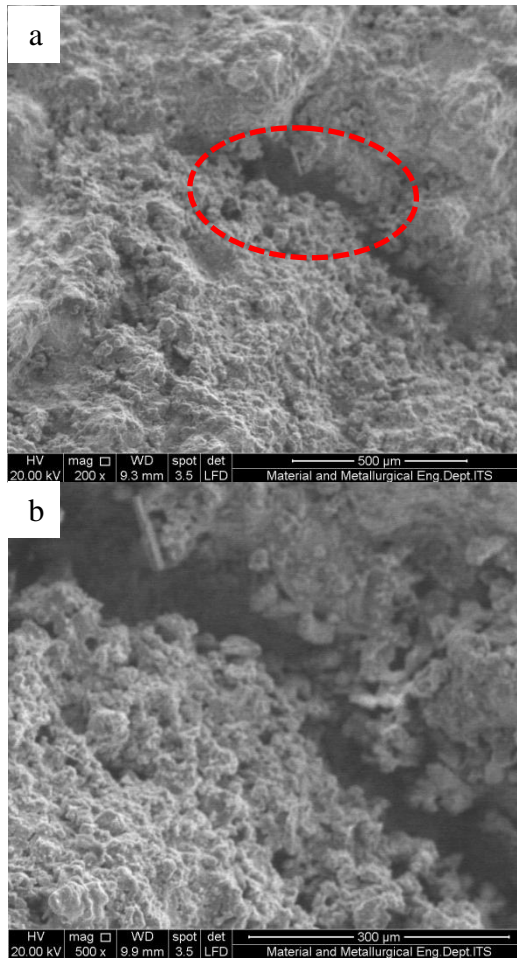
Berdasarkan hasil pengamatan SEM yang lebih jelas lagi Pada Gambar 4.6 memperlihatkan daerah *initial crack* pada *tire roller* dengan menggunakan sem perbesaran 250x dan 500x. Di tandai dengan adanya permukaan yang lebih rendah dibandingkan permukaan yang lain. Daerah ini diambil pada tepat pada daerah *initial crack*. Dari sini terlihat bahwa *tire roller* telah mengalami *fatigue crack brittle* dengan arah retakan yang tegak lurus dengan pembebanan.





Gambar 4.6 (a) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 250x ; (b) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 500x

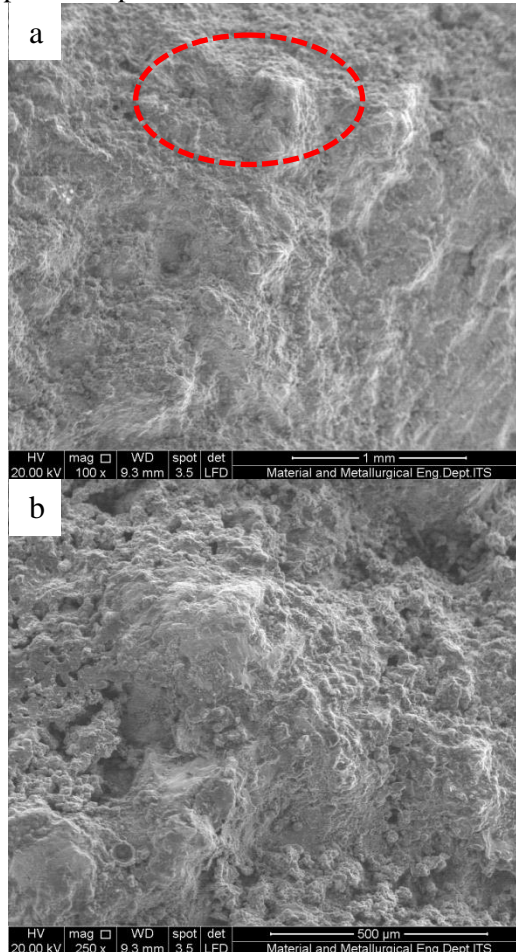
Setelah dari *initial crack* kemudian pengamatan SEM dilanjutkan kembali pada daerah perambatan retak pada *tire roller* yang mengalami kegagalan dimana terlihat adanya perbedaan ketinggian dengan adanya warna yang lebih gelap dibandingkan daerah awal retak yang dapat dilihat pada Gambar 4.7(a) dengan SEM pada perbesaran 250x, dan Gambar 4.7(b) dengan perbesaran 500x terlihat adanya butiran kasar yang merupakan ciri patahan getas.



Gambar 4.7 (a) pengamatan *crack propagation* dengan SEM perbesaran 200x ; (b) pengamatan *crack propagation* dengan SEM perbesaran 500x

Pada Gambar 4.8 memperlihatkan daerah akhir dari patahan (*final crack*) yang terjadi pada *tire roller* yang mengalami patah pada *tire roller* dengan menggunakan sem perbesaran 250x dan 500x. Dengan permukaan yang kasar, dan butiran yang kasar

yang sebelumnya terlihat pada hasil pengamatan secara makro dengan *stereomicroscope*. Pada Gambar 4.8 mengindikasikan bahwa rambatan ini merupakan rambatan akhir pada saat komponen tidak dapat menerima beban lebih lagi sehingga terjadi kegagalan pada komponen.



Gambar 4.8 (a) Pengamatan *final crack* dengan SEM perbesaran 100x ; (b) Pengamatan *final crack* dengan SEM perbesaran 250x



4.1.5 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *tire roller*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen *tire roller*. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Komparasi Uji Komposisi

Unsur(%)	Material Retak	Ni-Hard 4
C	2,5	2,6 – 3,2
Si	0,649	1,8 – 2,0
Mn	0,569	0,4 – 0,6
P	0,0228	0.06 max
S	0,0075	0.1 max
Ni	0,856	4,5 – 6,5
Cr	14,8	8,0 – 9,0
Mo	2,04	0 – 0,4

Tabel 4.3 Menunjukkan komposisi kimia pada sample uji. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, menunjukkan material *tire roller* yang mengalami kegagalan memiliki komposisi yang tidak sesuai dengan *white cast iron* Ni-Hard 4 dimana standar ini merupakan acuan standar pembuatan *tire roller*. Perbedaan yang terjadi pada kandungan unsur paduan Cr sebesar 14,8% lebih tinggi dari standar Ni-Hard 4. Kemudian kandungan unsur paduan Ni sebesar 0,856% sangat rendah dibandingkan dengan standar. Tidak adanya *mill certificate* yang menunjukkan kebenaran dari material yang digunakan, sehingga sulit untuk menentukan perbandingan standart komposisi materialnya.

4.1.6 Hasil Pengujian Metalografi

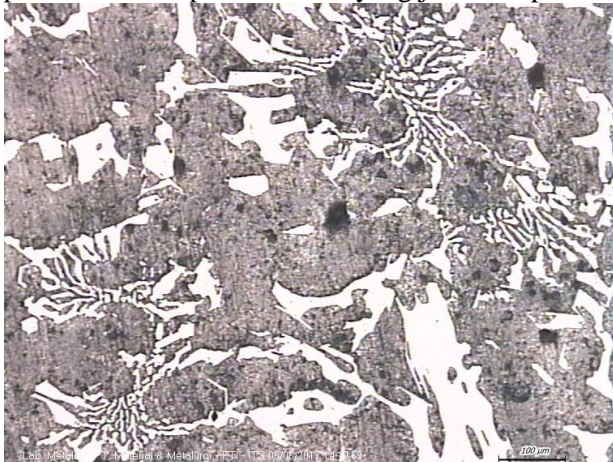
Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada daerah yang jauh dari patahan dan yang dekat dari patahan. Sehingga dapat diamati apakah material mengalami perubahan fasa yang menyebabkan berubahnya sifat dari material tersebut yang



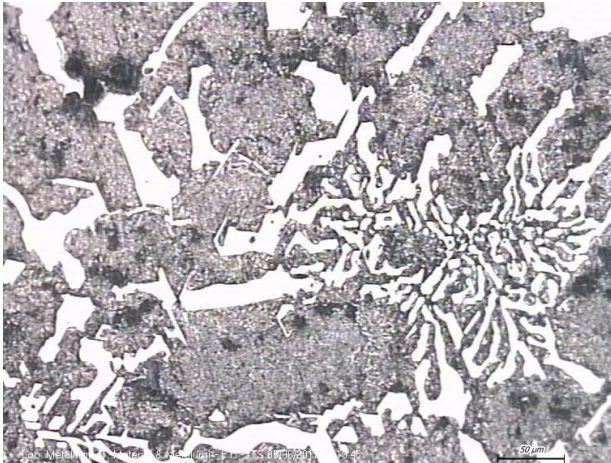
memicu terjadinya kegagalan. Pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 50x sampai dengan 500x dengan menggunakan alat mikroskop optik.



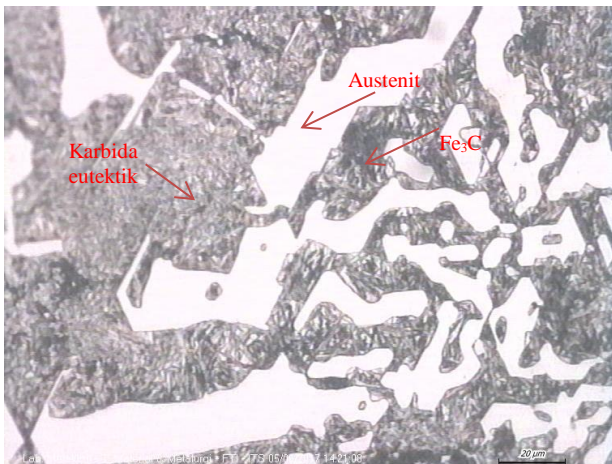
Gambar 4.9 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 50x pada material yang jauh dari patahan



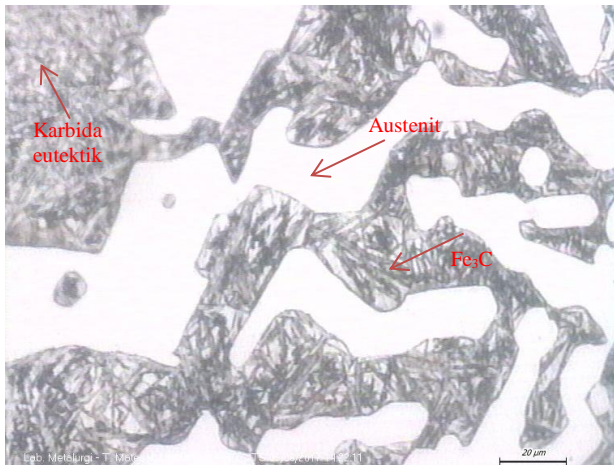
Gambar 4.10 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 100x pada material yang jauh dari patahan



Gambar 4.11 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 200x pada material yang jauh dari patahan



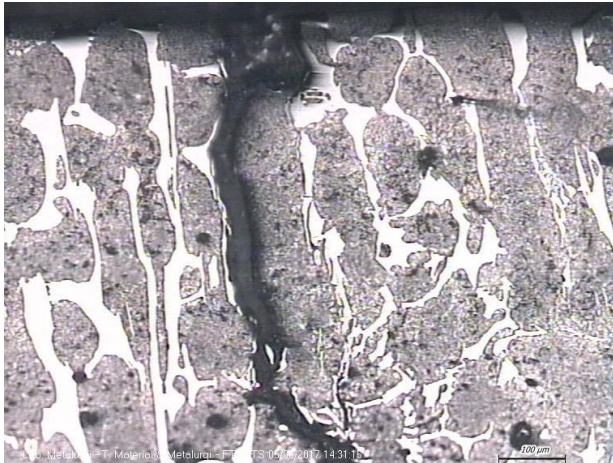
Gambar 4.12 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 500x pada material yang jauh dari patahan



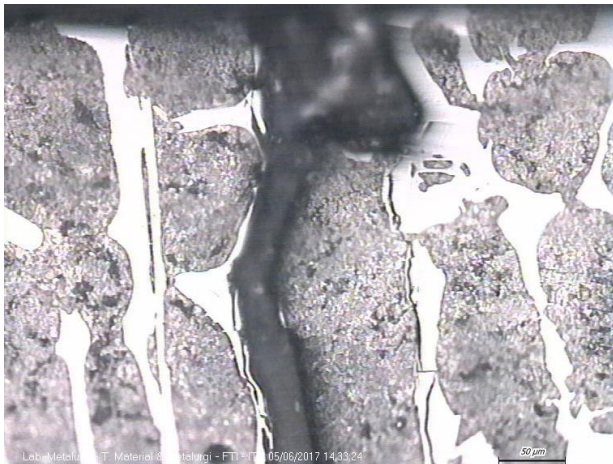
Gambar 4.13 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 1000x pada material yang jauh dari patahan



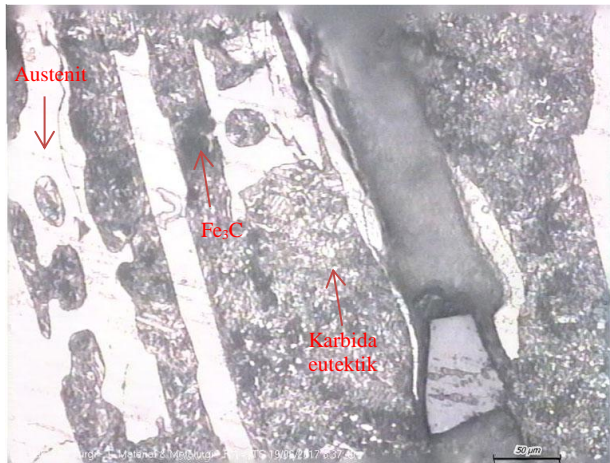
Gambar 4.14 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 50x pada material yang dekat dari patahan



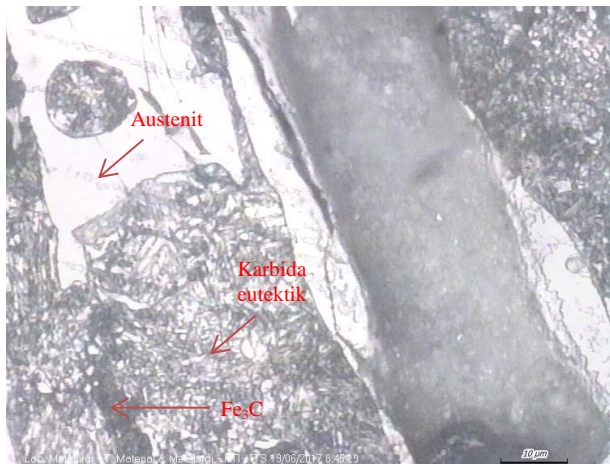
Gambar 4.15 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 100x pada material yang jauh dari patahan



Gambar 4.16 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 200x pada material yang jauh dari patahan



Gambar 4.17 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 500x pada material yang jauh dari patahan



Gambar 4.18 Struktur mikro *White Cast Iron Ni-Hard 4* perbesaran 1000x pada material yang jauh dari patahan

Berdasarkan pengamatan foto struktur mikro pada *tire roller* diatas, didapatkan bahwa pada bagian yang berwarna putih



adalah karbida eutektik austenit yang merupakan fasa utama dari Ni-Hard 4 material yang digunakan pada *tire roller*.

Dapat diketahui juga terdapat perbedaan penyebaran struktur austenit pada daerah yang dekat dengan patahan dan jauh dari patahan, dimana pada daerah yang jauh dengan patahan memiliki persebaran austenit yang tidak teratur dan berbentuk saling terhubung antar butir sehingga membentuk suatu pola dendritik.

Kemudian pada struktur mikro austenit yang berada didekat patahan memiliki persebaran yang teratur dan berbentuk memanjang tipis, hal ini disebabkan karena struktur mengalami strain hardening akibat dari tegangan yang selama *tire roller* bekerja sehingga struktur austenit pada daerah dekat dengan patahan memanjang dibandingkan dengan yang jauh dari patahan

4.1.7 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian *hardness* ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *tire roller* yang mengalami kegagalan dan yang berada jauh dari kegagalan. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, indentasi dilakukan pada daerah yang dekat dan jauh dari patahan dengan beban sebesar 100 kgf.

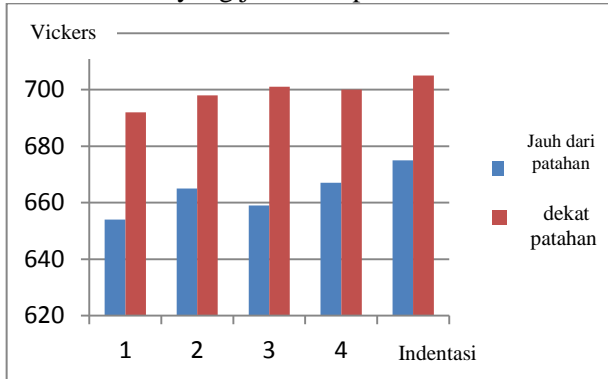
Pada tabel 4.4 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan pada daerah patahan dan yang jauh dari patahan, serta grafik distribusi kekerasan.

Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan

Nilai Kekerasan (HV)		
Daerah Indentasi	Jauh dari patahan	Dekat dari patahan
1	654	692
2	665	698
3	659	701
4	667	700
5	675	705
Rata-rata	664	700



Kekerasan pada material yang dekat dengan patahan memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada material yang jauh dari patahan seperti dapat dilihat pada Gambar 4.19 merupakan grafik perbandingan kekerasan antara material yang dekat dengan patahan dan material yang jauh dari patahan.



Gambar 4.19 Grafik distribusi kekerasan

4.1.8 Analisa Gaya

Analisa gaya dilakukan untuk mengetahui besar beban yang diterima *tire roller* saat *vertical roller mill* beroperasi sehingga menyebabkan material gagal. Analisa yang dilakukan ditinjau dari gaya sentrifugal akibat material yang digiling dikarenakan bagian *tire roller* yang gagal dibagian terluar yang diakibatkan perputaran dari *grinding bed* sehingga material yang digiling akan menuju pinggir akibat adanya gaya sentrifugal.

$$\begin{aligned}Mm &= \rho \times Vb \\Va &= Vb = Af \times h \\Af &= As \times 0,25 \\As &= (2\pi Rr (tr +)) - (2(\pi Rr 2))\end{aligned}$$

Dimana :

Mm : massa terak yang terdapat pada volume b [kg]

Va=Vb : volume terak

ρ : massa jenis dari terak [kg/m³]



- A_f : luas tapak tekan pada *grinding roll* [m²]
 h : *bed depth* (kedalaman material)[m]
 A_s : luas selimut yang berguna menggiling terak [m²]
 tt : tebal *grinding roll* [m]
 R_r : radius *grinding roll* [m]

Luasan selimut *grinding roll*

$$\begin{aligned}
 A_s &= (2\pi R_r (tr +)) - (2(\pi R_r^2)) \\
 &= (2 \times \pi \times 1,31 \text{ m}(0,99 \text{ m} + 1,31 \text{ m})) - (2\pi \times (1,31 \text{ m})^2) \\
 &= 8,2063 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tapak tekan *grinding roll*

$$\begin{aligned}
 A_f &= A_s \times 0,25 \\
 &= 8,2063 \text{ m}^2 \times 0,25 \\
 &= 2,0516 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Volume terak yang digiling

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_b = A_f \times h \\
 &= V_b = 2,0516 \text{ m}^2 \times 0,035 \text{ m}^3 \\
 &= V_b = 0,071806 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Massa terak

$$\begin{aligned}
 M_m &= \rho \times V_b \\
 &= 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,071806 \text{ m}^3 \\
 &= 150,793 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kecepatan sudut

$$\begin{aligned}
 1 \text{ rpm} &= 0,1047 \text{ rad/sec} \\
 22 \text{ rpm} &= 2,3034 \text{ rad/sec}
 \end{aligned}$$

Gaya sentrifugal ditinjau dari volume yang digiling

$$\begin{aligned}
 F_s &= M_m \times \omega^2 \times R^2 \\
 &= 150,793 \text{ kg} \times (2,3 \text{ rad/s})^2 \times 1,31 \text{ m} \\
 &= 1044,980 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Mencari tegangan yang bekerja pada rocker arm



$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$
$$\sigma_1 = \frac{99,22}{8,2063}$$
$$\sigma_1 = 12,090 \text{ kN/m}^2 \text{ (Pa)}$$
$$\sigma_1 = 0.012090 \text{ MPa}$$

▪ Safety Factor

$$S_f = \sigma_1 \times 2$$
$$S_f = 0.02418 \text{ MPa}$$

Hydraulic Pneumatic Pressure 9,17 kgf/mm² = 90 MPa

Total Stress

$$= 0.02418 + 90$$

$$= 90,02418 \text{ MPa}$$

Perbandingan tegangan maksimal pada material dengan standart

$$\sigma_1 < \sigma_y$$

$$90,02418 \text{ MPa} < 600 \text{ MPa}$$

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu komposisi, dan struktur mikro.

Berdasarkan uji komposisi menunjukkan material *tire roller* yang mengalami kegagalan memiliki komposisi yang tidak sesuai dengan *white cast iron* Ni-Hard 4 dimana standar ini merupakan acuan *standar* pembuatan *tire roller*. Kandungan Si pada standar Ni-Hard 4 dijaga dengan kadar 1,8-2,0% dimana unsur Si merupakan pembentuk dan penstabil ferit yang larut ke dalam ferit dan meningkatkan kekerasan dan kekuatan dari paduan. Kandungan Si pada material yang gagal yaitu sebesar 0,649% dimana kandungan Si yang rendah dapat menurunkan sifat tahan abrasi dan kekuatan dari paduan. Kemudian perbedaan



terdapat pada kandungan unsur paduan Ni sebesar 0,856% lebih rendah daripada standar yaitu minimum 4,5%, kandungan Ni dibutuhkan untuk meningkatkan kekerasan dan pembentukan karbida eutektik. Kandungan Cr yang terdapat pada *high chromium white cast iron* terkonsentrasi pada fasa karbida dimana unsur Cr merupakan salah satu unsur pembentuk karbida. Kandungan Cr pada material standar Ni-Hard 4 dijaga pada 8-10% untuk meningkatkan kekerasan dengan membentuk fasa karbida eutektik $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$. Kandungan Cr yang tinggi pada paduan dapat menyebabkan memperkecil daerah austenit dimana akan berdampak turunnya kekuatan dari paduan, dan menyebabkan sulitnya transformasi dari austenit menjadi martensit. Unsur paduan Cr pada material gagal sangat tinggi yaitu sebesar 14,8% dibandingkan standar Ni-Hard 4. Kadar karbon pada standar Ni-Hard 4 berada pada rentang 2,9-3,0 untuk memenuhi kekuatan, dan keuletan dari paduan. Kadar karbon pada material yang gagal sebesar 2,5% dimana lebih rendah daripada standar sehingga menyebabkan kekuatan dan ketangguhannya menurun dan terjadi kegagalan dikarenakan material memiliki kekerasan yang tinggi tetapi tidak diikuti dengan kekuatan.

Berdasarkan pengamatan uji metalografi material yang gagal memiliki fasa utama yaitu austenit dengan dendrit berwarna putih, lalu diikuti dengan karbida eutektik berwarna abu-abu, dan Fe_3C yang berwarna hitam. Fasa austenit memberikan sifat kekuatan pada paduan sehingga memiliki ketangguhan yang baik, karbida eutektik, dan Fe_3C . Pengamatan metalografi dilakukan pada daerah yang jauh dari patahan, dan daerah yang dekat dengan patahan didapatkan perbedaan struktur mikro dimana pada bagian yang dekat dengan patahan memiliki persebaran fasa austenit yang lebih sedikit dan berbentuk lebih memanjang daripada bagian yang jauh dari patahan yang cenderung memiliki persebaran fasa austenit yang lebih banyak membentuk gumpalan dan besar. Selain itu, struktur mikro di daerah dekat patahan mengalami *strain hardening* akibat dari tegangan selama *tire roller* bekerja dimana struktur mikronya mengalami *elongation*



(memanjang) dibanding struktur di daerah yang jauh dari patahan sehingga kekerasan mengalami kenaikan di daerah dekat patahan.

Berdasarkan uji kekerasan patahan yang dilakukan pada material yang jauh dari patahan dan yang dekat dari patahan. terjadi perubahan kekerasan pada daerah yang dekat dari patahan dan jauh dari patahan. Dimana pada daerah yang dekat dengan patahan memiliki nilai kekerasan 700 HV dimana mengalami kenaikan kekerasan di bandingkan daerah yang jauh dari patahan yaitu sebesar 664 HV ini disebabkan oleh beban berulang disebabkan tumbukkan berulang dengan *clinker* yang bekerja pada daerah yang dekat patahan sehingga daerah dekat dengan patahan mengalami *strain hardening* yang menyebabkan struktur mikro dari material lebih memanjang daripada material yang jauh dari patahan. Selain itu kekerasan material uji dibandingkan dengan kekerasan standar Ni-Hard 4 termasuk kedalam kekerasan minimum dari standar Ni-Hard 4 dimana kekerasan minimum dari Ni-Hard 4 yaitu sebesar 650 HV dan kekerasan maksimum 820 HV.

Analisa gaya dilakukan dengan meninjau tegangan yang bekerja akibat gaya yang diberikan oleh hidraulik. Analisa tegangan dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada *tire roller* sehingga dapat diketahui bahwa tegangan yang bekerja pada *tire roller* sebesar 90,02418 MPa dimana tegangan tersebut masih berada pada kekuatan dari material standar Ni-Hard 4 yaitu sebesar 600 MPa. Analisa gaya sentrifugal dilakukan akibat perputaran pada *grinding bed* menyebabkan terak yang digiling terdorong ke bagian terluar dari *grinding bed* dimana bagian terluar dari grinding bed merupakan daerah dari *tire roller* yang sering mengalami kegagalan diperoleh gaya sentrifugal yang bekerja saat beroperasi sebesar 1044,980 N.

Kemudian pada pengamatan fraktografi dapat diketahui bahwa *Initial Crack*, merupakan retak awal yang ditandai dengan permukaan yang terlihat terang dan halus. Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan, hal ini sesuai dengan material



tire roller yang gagal dimana awal retakan berawal dari permukaan *tire roller* yang bertumbukkan langsung dengan *clinker* dan terjadinya pemusatan beban sebagai akibat dari gaya sentrifugal yang bekerja yang menyebabkan *clinker* terdorong ke bagian terluar dari *tire roller* dan juga kemiringan *tire roller* saat beroperasi. *Initial crack* dapat dilihat pada gambar 4.3 yang terlihat secara jelas adanya perbedaan ketinggian dengan permukaan yang halus dan mengkilap berada pada pinggir dari sampel material.

Crack initiation yang terjadi akan terus berkembang seiring beban yang terus menerus diterima oleh *tire roller* sehingga akan terjadi *crack propagation*, merupakan penjaralan retak dengan permukaan yang berwarna lebih gelap dan adanya perbedaan ketinggian yang terlihat secara makro bila dibandingkan dengan daerah *initial crack*. *Crack propagation* pada material yang gagal bergerak ke arah atas dikarenakan perambatan retak lebih mudah terjadi daripada pengintian retak, dimana perambatan retak akan terus terjadi walaupun dengan beban yang konstan dan kecepatan rambat yang lambat daerah penjaralan retak (*crack propagation*) ditunjukkan pada Gambar 4.4. Daerah ini memiliki permukaan yang lebih halus daripada daerah *rupture zone* atau daerah patah cepat.

Perambatan retak yang terjadi pada akhirnya akan mengarah pada akhir dari retakan tersebut. *Final crack*, merupakan daerah rambatan akhir dengan permukaan yang kasar dengan butir-butir yang kasar (*coarse grains*). Pada material yang gagal dapat terlihat bahwa daerah akhir retakan lebih tipis daripada daerah awal retakan dimana dapat diketahui perambatan retak berbelok ke arah luar. *final crack* terjadi karena material sudah tidak dapat lagi menerima beban lebih besar dan arah perambatan retak yang menuju keluar sehingga patahan yang terjadi kecil. Terlihat juga kenaikan penampang yang lebih tinggi dari *crack propagation* dan *initial crack* pada daerah perambatan patah secara cepat (*rupture zone*).



Dari hasil pengamatan dan penelitian di atas dapat dipastikan bahwa *tire roller* mengalami patahan akibat dari beban berulang disebabkan bertumbukan dengan *clinker*.

Terjadinya kegagalan dapat diakibatkan oleh beban yang terkonsentrasi pada bagian terluar dari *tire roller* yang menyebabkan pemusatan tegangan yang dapat mengakibatkan terjadinya awal retakan pada *tire roller*



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *tire roller* pada *vertical roller mill* antara lain sebagai berikut :

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *tire roller* pada *vertical roller mill* yaitu komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan material standar
2. Mekanisme kegagalan komponen *tire roller* ini terjadinya dikarenakan beban yang terkonsentrasi pada bagian terluar dari *tire* dikarenakan beban berulang, dan tumbukkan dengan *clinker* maka komponen tersebut mengalami kegagalan
3. Untuk mengatasi kegagalan yaitu mengganti material dengan standar kekuatan minimum *tire roller* Ni-Hard 4 sehingga diperoleh paduan dengan ketangguhan yang tinggi dan sifat tahan aus

2. Saran

1. Melakukan pengujian komposisi, kekerasan dan metalografi pada material yang akan dibeli, dan sertifikasi dari material yang ada diperjelas
2. Inspeksi berkala pada komponen *tire roller* untuk meminimalisir terjadinya patah pada *tire roller*
3. Menggunakan produk lain yang sesuai dengan standar *tire roller* dan yang lebih murah serta efisien dalam penggunaannya



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

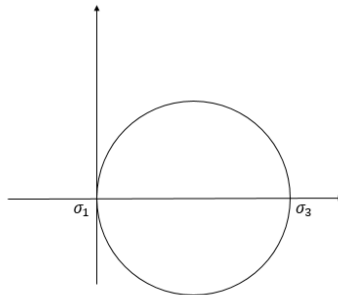
- _____. 1991. **ASM Handbook Vol. 1 Properties and Selection Iron Steels and High Performance Alloy**. USA: ASM International.
- _____. 1991. **ASM Handbook Vol. 4 Heat Treating**. USA: ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.12 Fractography**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2012. **Loesche-Mills for Cement Raw Material**. Germany.
- _____. 2012. **Optimize Your Grinding Parts**. Germany.
- Askeland, Donald R. 2010. **The Science and Engineering of Materials**. USA: Congage Learning
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Baharuddin, Azhar. 2016. **Analisa Kegagalan Rocker Arm Pada Vertical Roller Mill Di Coal Mill Tuban 1 PT. Semen Indonesia**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials**. New York: McGraw-Hill.
- Calister, William. 2007. **Material Science and Engineering An Introduction**. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Cheng, Kun. 2011. **Finite Element Analysis For Rocker Arms Of Vertical Roller Mill On The ANSYS Workbench**. China : College Of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University Of Science and Technology, Mianyang.
- Colangelo, V.J. 1989. **Analysis of Metallurgical Failures Second Edition**. Singapore : John Wiley & Sons, Inc.
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta : Erlangga.
- Jensen, R.D Lucas dkk. 2011. **Wear Mechanism Of Abrasion Resistant Wear Parts In Raw Vertical Roller Mills**. Denmark : Technical University Of Denmark

- Li D., Liu L., Zhang Y., Ye C., Ren X., Yang Y., Yang Q., 2009. **Phase Diagram Calculation of High Chromium Cast Irons and Influence of Its Chemical Composition.** Materials & Design 30: 340–345
- Nishida, Shin-ichi.1992. **Failure Analysis in Engineering Application.** Jordan Hill. Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd.
- Nurjaman, Fajar. 2012. **Pembuatan Grinding Ball dari Material White Cast Iron dengan Penambahan Chromium, Molybdenum, Vanadium, dan Boron sebagai Unsur Peduan Pembentuk Karbida.** Depok: Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Ortega-Cubillos, Patricia. 2015. **Wear Resistance of High Chromium White Cast Iron for Coal Grinding Rolls.** Brasil: Universidad de Antioquia.
- R. Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials.** New York : McGraw-Hill.
- Rohrig, K. 1996. **Ni-Hard Material Data and Applications.** Canada: Nickel Development Institute.
- Wang, QianHong dkk. 2012. **Design and Realization Of Roller Mill Control System.** China University Of Jinan

LAMPIRAN

A. Perhitungan Tegangan

- Diketahui :
 - Daya motor (P) = 600 kw
 - Kecepatan putar millstone = 22 rpm
 - Radius Average Load = 0.875 m
 - banyak roller (n) = 3 buah
 - Luasan tire roller (a) = 8,2063 m²
 - Hydraulic Pneumatic Pressure = 90 MPa
- Ditanya : Tegangan yang bekerja pada komponen tire roller yang mengalami kegagalan
- Dijawab :
 - Metode Tresca



$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } 2\tau &= \sigma_\gamma \\ \sigma_\gamma &= \sigma_1 - \sigma_3 \end{aligned}$$

Karena pembebanan secara uniaxial, maka dapat disimpulkan bahwa :

$$\sigma_3 = 0$$

Sehingga,

$$\sigma_\gamma = \sigma_1 - 0$$

$$\sigma_y = \sigma_1$$

Sehingga,

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

Dimana, F = Gaya (N) ; A= Luas Penampang (m²)

- Mencari torsi (T_d)

$$T_t = \frac{9550 \text{ Daya}}{\text{Kecepatan rotasi}}$$

$$T_t = \frac{9550 \times 600}{22}$$

$$T_t = 260454,56 \text{ Nm}$$

- Mencari Force (F_i)

$$T_t = F_i \times R \times n$$

$$F = \frac{T}{r \times n}$$

$$F = \frac{260454,56}{0,875 \times 3}$$

$$= 99220,77 \text{ N}$$

$$= 99,22 \text{ KN}$$

- Mencari tegangan yang bekerja pada rocker arm

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_1 = \frac{99,22}{8,2063}$$

$$\sigma_1 = 12,1 \text{ kN/m}^2 (\text{Pa})$$

$$\sigma_1 = 0.0121 \text{ MPa}$$

- Safety Factor

$$S_f = \sigma_1 \times 2$$

$$S_f = 0.02418 \text{ MPa}$$

**Hydraulic Pneumatic Pressure 90 MPa
Total Stress**

$$= 0.02418 + 90$$

$$= 90,02418 \text{ MPa}$$

- Perbandingan tegangan maksimal pada material dengan standart

$$\sigma_1 < \sigma_y$$

$$90,02418 \text{ MPa} < 600 \text{ MPa}$$

B. Hasil Pengujian Komposisi (OES)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : CAST IRON
Customer : MUHAMMAD REZA (T. MATERIAL) Dimension : -
Lab-no. : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : MUHARROR Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 21 MARET 2017

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	78.4	2.52	0.662	0.581	0.0251	0.0079	14.7	2.11
2	78.3	2.48	0.645	0.568	0.0214	0.0066	14.9	2.03
3	78.5	2.49	0.639	0.559	0.0219	0.0080	14.8	1.98
Ave	78.4	2.50	0.649	0.569	0.0228	0.0075	14.8	2.04

	Ni	Cu
1	0.861	0.0188
2	0.845	0.0157
3	0.862	0.0127
Ave	0.856	0.0158

Examined by,
PPNS



(MUHARROR)

Kampus ITS Sukolilo
Teknik Mesin

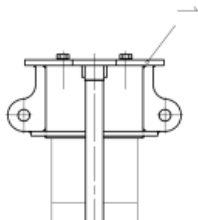
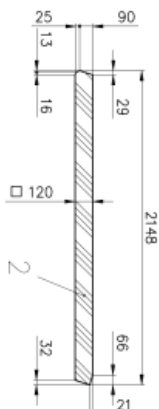
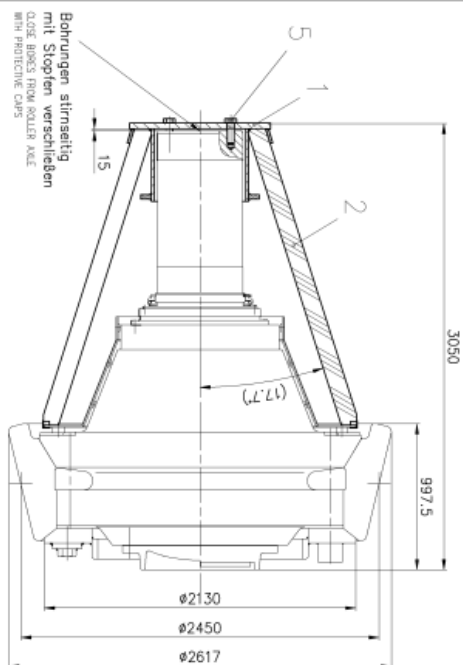
Technical drawing of a mechanical assembly, likely a pump or engine component, showing a cross-section with various parts labeled with numbers and letters. The drawing includes detailed views of the internal components, such as the piston, connecting rod, and crankshaft. Key features include the cylinder block, piston rings, and the crankshaft mechanism. The drawing is annotated with numerous dimensions and part numbers, providing a comprehensive technical specification of the assembly.

Legend:

- 1. Piston
- 2. Piston rings
- 3. Piston pin
- 4. Piston pin clip
- 5. Piston pin clip
- 6. Piston pin clip
- 7. Piston pin clip
- 8. Piston pin clip
- 9. Piston pin clip
- 10. Piston pin clip
- 11. Piston pin clip
- 12. Piston pin clip
- 13. Piston pin clip
- 14. Piston pin clip
- 15. Piston pin clip
- 16. Piston pin clip
- 17. Piston pin clip
- 18. Piston pin clip
- 19. Piston pin clip
- 20. Piston pin clip
- 21. Piston pin clip
- 22. Piston pin clip
- 23. Piston pin clip
- 24. Piston pin clip
- 25. Piston pin clip
- 26. Piston pin clip
- 27. Piston pin clip
- 28. Piston pin clip
- 29. Piston pin clip
- 30. Piston pin clip
- 31. Piston pin clip
- 32. Piston pin clip
- 33. Piston pin clip
- 34. Piston pin clip
- 35. Piston pin clip
- 36. Piston pin clip
- 37. Piston pin clip
- 38. Piston pin clip
- 39. Piston pin clip
- 40. Piston pin clip
- 41. Piston pin clip
- 42. Piston pin clip
- 43. Piston pin clip
- 44. Piston pin clip
- 45. Piston pin clip
- 46. Piston pin clip
- 47. Piston pin clip
- 48. Piston pin clip
- 49. Piston pin clip
- 50. Piston pin clip
- 51. Piston pin clip
- 52. Piston pin clip
- 53. Piston pin clip
- 54. Piston pin clip
- 55. Piston pin clip
- 56. Piston pin clip
- 57. Piston pin clip
- 58. Piston pin clip
- 59. Piston pin clip
- 60. Piston pin clip
- 61. Piston pin clip
- 62. Piston pin clip
- 63. Piston pin clip
- 64. Piston pin clip
- 65. Piston pin clip
- 66. Piston pin clip
- 67. Piston pin clip
- 68. Piston pin clip
- 69. Piston pin clip
- 70. Piston pin clip
- 71. Piston pin clip
- 72. Piston pin clip
- 73. Piston pin clip
- 74. Piston pin clip
- 75. Piston pin clip
- 76. Piston pin clip
- 77. Piston pin clip
- 78. Piston pin clip
- 79. Piston pin clip
- 80. Piston pin clip
- 81. Piston pin clip
- 82. Piston pin clip
- 83. Piston pin clip
- 84. Piston pin clip
- 85. Piston pin clip
- 86. Piston pin clip
- 87. Piston pin clip
- 88. Piston pin clip
- 89. Piston pin clip
- 90. Piston pin clip
- 91. Piston pin clip
- 92. Piston pin clip
- 93. Piston pin clip
- 94. Piston pin clip
- 95. Piston pin clip
- 96. Piston pin clip
- 97. Piston pin clip
- 98. Piston pin clip
- 99. Piston pin clip
- 100. Piston pin clip

Wiedergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Vervielfältigung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz.
Alle Rechte für den Fall der Patent- und Verlagsverletzung vorbehalten. 050 10006

THE REPRODUCTION, DISTRIBUTION AND UTILIZATION OF THIS DOCUMENT AS WELL AS THE COMMUNICATION OF ITS CONTENTS TO OTHERS WITHOUT EXPRESS AUTHORIZATION IS PROHIBITED. OFFENDERS WILL BE HELD LIABLE FOR THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS RESERVED IN THE EVENT OF THE GRANT OF A PATENT, UTILITY MODEL, OR DESIGN.

[illegible]

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Papah, Mamah, Tete-Tete tercinta keluarga Roseno yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Pak Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., PhD. dan Pak Wikan Jatimurti S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi, dan telah banyak membanyak memberikan ilmu.
5. Bapak Apriyo Edi, selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia yang telah membimbing selama pengambilan data Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Keluarga MT 15 yang telah menemani semenjak awal masuk ITS, dan memberikan penulis banyak bantuan selama perkuliahan, dan pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Bani, sebagai penyemangat selama kuliah di ITS, dan membrikan motivasi, dan semangat.
9. Geng Bromo, Ihsan, Ici, Meila, Bani, Tutut, Nana, Qory, dan Anggun yang selalu menjadi sahabat dan keluarga kecil bagi penulis.
10. Kuy Cus Putri, Anvy, Yoga, Alif, Ableh, Poppy, Nadia, Kembar, Mahmud, dan Marza sahabat terbaik semenjak sekolah menengah pertama hingga saat ini.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Reza yang dilahirkan di kota Tangerang pada tanggal 27 Juni 1995. Penulis pernah menjalankan pendidikan formal di SDN Sukasari 5 Kota Tangerang, SMPN 1 Kota Tangerang, dan SMAN 1 Kota Tangerang. Penulis merupakan mahasiswa aktif Departemen Teknik Material FTI-ITS tahun masuk 2013.

Selama menjalankan pendidikan di kampus perjuangan ITS Surabaya penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi mahasiswa himpunan mahasiswa teknik material dan etalurgi (HMMT) FTI - ITS sebagai staff Unit Kerja Khusus pada periode 2014-2015. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi ekstra kampus Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) Komisariat Mesin Sepuluh Nopember sebagai staff Kewirausahaan Pengembangan Profesi 2014-2015, dan kepala bidang Kewirausahaan Pengembangan Profesi.

Alamat penulis saat ini adalah Jalan KH Hasyim Ashari gg Palem nomer 7, Buaran Indah, Kota Tangerang. Nomer telepon yang dapat dihubungi adalah 083811224077 atau alamat email rezamuhamm13@gmail.com.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)